



TUGAS AKHIR - RC 141501

ANALISA SCOURING PADA BAGIAN BAWAH JEMBATAN, PADA RENCANA SUDETAN KALI TANGGUL, JEMBER, JAWA TIMUR

MUHAMMAD RIZQI UWAIS A
NRP. 3116105017

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Ir. Bambang Sarwono, MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - RC 141501

ANALISA SCOURING PADA BAGIAN BAWAH JEMBATAN, PADA RENCANA SUDETAN KALI TANGGUL, JEMBER, JAWA TIMUR

MUHAMMAD RIZQI UWAIS A
NRP. 3116105017

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Ir. Bambang Sarwono, MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



FINAL PROJECT - RC 141501

**SCOURING ANALYSIS IN BOTTOM SECTION OF BRIDGE ON
WATERWAY DIVERSION DESIGN, KALI TANGGUL, JEMBER,
EAST JAVA**

MUHAMMAD RIZQI UWAIS A
NRP. 3116105017

Supervisor
Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.
Ir. Bambang Sarwono, MSc.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Enviromental, and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

**ANALISA SCOURING PADA BAGIAN
BAWAH JEMBATAN, PADA
RENCANA SUDETAN KALI
TANGGUL, JEMBER, JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD RIZQI UWAIS A

NRP. 031111645000017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc.

2. Ir. Bambang Sarwono, MSc.



SURABAYA
JULI, 2018

**ANALISA SCOURING PADA BAGIAN BAWAH
JEMBATAN, PADA RENCANA SUDETAN KALI
TANGGUL, JEMBER, JAWA TIMUR**

Nama Mahasiswa : Muhammad Rizqi Uwais A.
NRP : 03111645000017
Departemen : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. WASIS WARDOYO, MSc.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. BAMBANG SARWONO, MSc.

Abstrak

Kawasan Kali Tanggul anak sungai Sungai Bondoyudo, merupakan kawasan rawan banjir pada setiap musim penghujan, debit air yang melewati Kali Tanggul sangat besar dan dimensi kali tanggul yang kecil dan ditambah dengan penumpukan sedimen pada saluran Kali Tanggul menyebabkan genangan yang besar di kawasan desa Kepanjen, Kabupaten Jember. Banjir yang terjadi sampai merusak tanggul pembatas kali tanggul dan jalan desa. Rekayasa aliran sungai dilakukan pemerintah sebagai antisipasi penanggulangan banjir di daerah tersebut. Pemerintah daerah Kabupaten Jember merencanakan bangunan, sehingga diharapkan debit yang sangat besar pada saat musim hujan dapat terbagi melalui sudetan tersebut, sehingga dapat mengurangi jumlah debit yang harus melewati kali tanggul. Rencana pembangunan sudetan ini direncanakan melewati bagian bawah Jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan), dan tidak pada sampai muara sungai/laut.

Adanya aliran air sudetan yang direncanakan akan melewati bagian bawah jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan) ini dapat menyebabkan perubahan pada morfologi dasar berupa aggradasi atau degradasi sedimen. Jika terjadi aggradasi, dasar sungai akan mengalami pendangkalan dan tinggi bebas antara muka air sungai dengan bagian bawah jembatan juga berkurang. Jika terjadi degradasi, maka erosi dasar sungai akan mengakibatkan sungai semakin dalam,, erosi tebing yang mengakibatkan sungai semakin lebar, sehingga menyebabkan terjadinya deposisi meander sungai.

Selain itu perubahan yang terjadi akibat adanya aliran di bawah jembatan dapat mengganggu keseimbangan material dasar sungai terganggu dan kestabilan struktur dari jembatan tersebut. Adanya struktur bagian bawah jembatan dapat menyebabkan pengendapan sedimen yang terus menerus sehingga dapat menyebabkan terjadinya banjir karena kapasitas sungai yang berkurang, sedangkan sedimen yang terus-menerus terkikis akibat bertambahnya kecepatan aliran akan membuat struktur jembatan yang berada di atasnya menjadi tidak stabil.

Pada tugas akhir ini dilakukan permodelan dengan program bantu Hec-Ras sebanyak tiga permodelan. Kemudian untuk analisa scouring dilakukan pula dengan program bantu Hec-Ras 4.1.0. setelah dilakukan analisa dengan Hec-Ras, didapatkan scouring maksimal yang terjadi pada bagian bawah jembatan akibat debit dan pasang surut air laut sebesar 5.40 m. Perlindungan scouring yang terjadi di pier maupun di abutmen adalah dengan pemasangan proteksi riprap. Dimensi batu belah yang digunakan dicari berdasarkan persamaan Isbash. Didapatkan dimensi batu belah yang digunakan adalah 20 cm. Dan layout untuk proteksi riprap pada pier jembatan sepanjang 4.40 m ke semua arah. Perlindungan untuk abutmen jembatan diletakkan melingkar pada bagian abutmen.

Kata kunci: sudetam, scouring, jembatan, kali tanggul, jember

SCOURING ANALYSIS IN BOTTOM SECTION OF BRIDGE ON WATERWAY DIVERSION DESIGN, TANGGUL REACH, JEMBER, EAST JAVA

Nama Mahasiswa : Muhammad Rizqi Uwais A.
NRP : 03111645000017
Department : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. WASIS WARDOYO, MSc.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. BAMBANG SARWONO, MSc.

Abstract

Kali Tanggul, an area prone to flooding in every rainy season, the water debit passing through Kali debit is very large and the dimension of small embankment times and coupled with the accumulation of sediments on the Kaliul River channel causes a large pool in the area of Kepanjen village, Jember regency. Floods that occur to damage the dike boundary times dikes and village roads. River flow engineering is carried out by the government in anticipation of flood mitigation in the area. The local government of Jember Regency is planning the building, so it is expected that very large discharge during the rainy season can be divided through the sieve, thus reducing the amount of discharge that must pass through the embankment. The plan for the construction of the spacecraft is planned to pass through the bottom of the JLS Bridge (South Cross Pass), and not to the mouth of the river / sea.

The existence of the planned water flow of the sled will pass through the bottom of the JLS bridge (South Cross Lane) this can cause changes in the basic morphology of agradasi or sediment degradation. In the event of agradation, the river bed will undergo siltation and the free height between the river water level and the bottom of the bridge is also reduced. If there is degradation, then the erosion of the river bottom will result in deeper river, erosion of the cliff that causes the river to become wider, causing the deposition of river meander. In addition, changes that occur due to

the flow under the bridge can disrupt the balance of disturbed river bed material and structural stability of the bridge. The existence of the undercarriage structure of the bridge can lead to sediment deposition continuously so as to cause flooding due to reduced river capacity, while the sediment is constantly eroded due to increasing flow velocity will make the structure of the bridge on it becomes unstable.

In this final project done modeling with Hec-Ras auxiliary program three times. Then for scouring analysis is also done with auxiliary program Hec-Ras 4.1.0. after analyzing with Hec-Ras, got maximum scouring that happened at the bottom of the bridge due to discharge and tidal water of 5.27 m. Scouring protection occurring in pier and abutment is with the installation of riprap protection. The dimensions of the stones used are sought based on the Isbash equation. Obtained dimension of stone used is 20 cm. And the layout for riprap protection along the 4.40 m in all directions. Protection for abutment of the bridge is placed in a circle on the abutment.

Keywords: waterway diversion, scouring, bridge, tanggul river, jember.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayahNya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan Tugas Teknik Penulisan Ilmiah dengan judul **“Analisa scouring pada bagian bawah jembatan, pada rencana sudetan Kali Tanggul, Jember, Jawa Timur”**. Tugas ini merupakan salah satu syarat kelulusan bagi seluruh mahasiswa dalam menempuh pendidikan pada program studi Lintas Jalur Sarjana Teknik Sipil FTSP ITS.

Saya ucapkan terimakasih atas bimbingan, arahan, serta bantuan dari :

1. Bapak Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc., selaku dosen pembimbing pertama Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Bambang Sarwono, MSc., selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir.
3. Kedua orang tua kami yang selalu memberikan dukungan dan do'a.
4. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.

Saya menyadari bahwa dalam pengerjaan tugas ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi terciptanya hasil yang lebih baik.

Surabaya, 10 Juli 2018

Penyusun

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------|--|
| Abstrak | i |
| Abstract | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 | Latar Belakang 1 |
| 1.2 | Rumusan Masalah 2 |
| 1.3 | Tujuan 2 |
| 1.4 | Batasan Masalah 3 |
| 1.5 | Manfaat 3 |
| 1.6 | Lokasi Studi 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 | Umum 5 |
| 2.2 | Daerah Lairan Sungai 5 |
| 2.3 | Tipe Sungai 7 |
| 2.3.1 | Berdasarkan Aliran 7 |
| 2.3.2 | Berdasarkan Umur dan Geometrik 7 |
| 2.3.3 | Berdasarkan Sistem 8 |
| 2.4 | Hidrolika Sungai 8 |
| 2.4.1 | Jenis aliran 8 |
| 2.4.2 | Tegangan Geser Dasar Aliran dan Kecepatan Geser 11 |
| 2.4.1 | Klasifikasi Lapisan Aliran 12 |
| 2.5 | Transportasi Sedimen 13 |
| 2.5.1 | Awal Gerak Butiran 14 |
| 2.5.2 | Persamaan Angkutan Sedimen 16 |
| 2.5.3 | Kurva Distribusi Ukuran Butiran 19 |
| 2.5.4 | Degradasi 21 |
| 2.5.5 | Agradasi 22 |
| 2.6 | Gerusan (<i>Scouring</i>) 22 |
| 2.6.1 | Jenis – Jenis Gerusan 22 |
| 2.6.2 | Gerusan Pada Pilar Jembatan 23 |

| | | |
|-----------------------------|--|-----------|
| 2.6.3. | Persamaan Gerusan Lokal Pada Pilar..... | 26 |
| 2.7 | Analisa Hidrolika | 30 |
| BAB III | METODOLOGI PENELITIAN..... | 33 |
| 3.1 | Studi Lapangan dan Studi Literatur..... | 33 |
| 3.2 | Pengumpulan Data..... | 33 |
| 3.3 | Analisis Data dan Perhitungan | 34 |
| 3.3.1. | Analisa Hidrologi..... | 34 |
| 3.3.2. | Analisa Angkutan Sedimen dan Gerusan | 34 |
| 3.4 | Bagan Alir | 34 |
| BAB IV | ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 | Analisa Data..... | 37 |
| 4.1.1. | Data Debit | 38 |
| 4.1.2. | Data Penampang Saluran | 44 |
| 4.1.3. | Data Pasang Surut Air Laut..... | 45 |
| 4.2 | Analisa Hidrolika Dengan Hec-Ras 4.1.0 | 47 |
| 4.2.1. | Permodelan I | 47 |
| 4.2.2. | Permodelan II..... | 54 |
| 4.2.3. | Permodelan III | 60 |
| 4.3 | Analisa Sampel Sedimen | 61 |
| 4.4 | Simulasi Gerusan Lokal Pada Jembatan | 64 |
| 4.4.1 | Input Data Geometri Jembatan..... | 65 |
| 4.4.2 | Simulasi <i>Unsteady Flow</i> Permodelan Jembatan | 66 |
| 4.4.3 | Analisa Gerusan Lokal Yang Terjadi Pada Jembatan..... | 68 |
| 4.5 | Perlindungan Terhadap Gerusan Lokal Yang Terjadi Pada Jembatan | 73 |
| 4.5.1. | Proteksi RipRap Untuk Gerusan Pada Tiang/Pier Jembatan | 74 |
| 4.5.2. | Layout Proteksi RipRap Pada <i>Pier</i> Jembatan..... | 75 |
| 4.5.3. | Proteksi RipRap Untuk Gerusan Pada Abutmen Jembatan | 78 |
| 4.5.4. | Layout Proteksi RipRap Pada <i>Abutmen</i> Jembatan | 79 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 81 |
| 5.1. | Kesimpulan..... | 81 |
| 5.2. | Saran | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 83 |
| BIODATA PENULIS..... | | 85 |
| LAMPIRAN..... | | 87 |

| | |
|--|-----|
| Tutorial Penggunaan Program Hec-Ras 4.1.0 | 87 |
| I. Input Data Penampang Melintang Saluran | 87 |
| II. Membuat <i>New Project</i> Pada Hec-Ras 4.1.0..... | 89 |
| III. Memodelkan Aliran | 90 |
| IV. Input Geometri Data Pada Hec-Ras..... | 91 |
| V. Input <i>unsteady flow</i> Data Pada Hec-Ras..... | 92 |
| VI. Running <i>Unsteady Analysis</i> Hec-Ras | 94 |
| VII. Cek Kondisi Penampang Setelah Running | 95 |
| VIII. Mendesain Jembatan Menggunakan Hec-Ras | 97 |
| IX. Running Unsteady Flow Analysis Jembatan | 99 |
| X. Mencari Besar <i>Scouring</i> Yang Terjadi Pada Bagian Bawah Jembatan | 101 |
| Perbandingan Penampang Melintang Kali Tanggul | 104 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 faktor lempung Lacey berdasarkan tanah..... | 27 |
| Tabel 2. 2 Nilai η_1 dan n^* untuk Berbagai Diameter Butiran Sedimen | 28 |
| Tabel 2. 3 Pengaruh Bentuk Pier Nose Terhadap Gerusan | 29 |
| | |
| Tabel 4. 1 Data Debit Harian Dam Pondokwaluh | 39 |
| Tabel 4. 2 Debit Maksimum Harian Per Bulan | 40 |
| Tabel 4. 2 Debit Maksimum Harian Per Bulan (Lanjutan) | 41 |
| Tabel 4. 2 Debit Maksimum Harian Per Bulan (Lanjutan) | 42 |
| Tabel 4. 3 Debit Maksimum Harian 9 Tahun..... | 43 |
| Tabel 4. 3 Debit Maksimum Harian 9 Tahun (Lanjutan) | 44 |
| Tabel 4. 4 Data Pasang Surut Paseban | 46 |
| Tabel 4. 4 Data Pasang Surut Paseban (Lanjutan)..... | 47 |
| Tabel 4. 5 Debit Kali Tanggul | 57 |
| Tabel 4. 6 Input Data Pasang Surut Pada Hec-Ras..... | 59 |
| Tabel 4. 7 Prosentase Butiran Yang Lolos Pada Setiap Ayakan . | 63 |
| Tabel 4. 8 Ringkasan Hasil Analisa <i>Scouring</i> | 73 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian | 4 |
| Gambar 2. 1Tingkat Aliran Sungai | 5 |
| Gambar 2. 2 Corak Daerah Aliran Sungai (DAS) | 6 |
| Gambar 2. 3 Diagram Shield Memperlihatkan θ_c sebagai Fungsi Re | 15 |
| Gambar 2. 4 Diagram Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Butiran Sedimen. | 16 |
| Gambar 2. 5 definisi dari D75, D60, D30, D25 dan D10 | 20 |
| Gambar 2. 6 Kurva Distribusi Butiran | 21 |
| Gambar 2. 7 Bentuk Ujung Pilar | 24 |
| Gambar 2. 8 Pola Gerusan Pada Pilar Silinder | 24 |
| Gambar 2. 9 Bentuk Gerusan Terhdap Posisi Pilar | 25 |
| Gambar 2. 10 Grafik Faktor Posisi K_a Untuk Pilar yang Tidak Sejajar Aliran | 26 |
| Gambar 2. 11 Hubungan θ dan η_3 | 28 |
| Gambar 2. 12 Grafik Hubungan Material Dasar | 30 |
| Gambar 3. 1 Bagan Alir | 35 |
| Gambar 3. 1 Bagan Alir (Lanjutan)..... | 36 |
| Gambar 4. 1 Skema Aliran Permodelan I..... | 48 |
| Gambar 4. 2 Input Data <i>Flow Hydrograph</i> PadaHec-Ras | 50 |
| Gambar 4. 3 Jendela <i>Unsteady Flow Analysis</i> | 51 |
| Gambar 4. 4 Hasil Running <i>Unsteady flow</i> | 51 |
| Gambar 4. 5 Hasil Permodelan I Pada Penampang Kali Tanggul | 53 |
| Gambar 4. 6 Hasil Permodelan I Pada Penampang Kali Baru | 54 |
| Gambar 4. 7 Skema Aliran Permodelan II | 56 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 8 Alat Pengambil Sedimen | 62 |
| Gambar 4. 9 Lokasi Pengambilan Sedimen..... | 62 |
| Gambar 4. 10 Potongan Melintang Jembatan Kali Tanggul..... | 65 |
| Gambar 4. 11 Input Data Geometri Jembatan | 66 |
| Gambar 4. 12 Penampang Melintang Sudetan Sebelum Ada Jembatan | 67 |
| Gambar 4. 13 Penampang Melintang Sudetan Setelah Ada Jembatan..... | 68 |
| Gambar 4. 14 Input Data <i>Contraction Scour</i> Pada <i>Hydraulic Design</i> | 69 |
| Gambar 4. 15 Input Data <i>Pier Scour</i> Pada <i>Hydraulic Design</i> | 70 |
| Gambar 4. 16 Input Data <i>Abutmen Scour</i> Pada <i>Hydraulic Design</i> | 71 |
| Gambar 4. 17 Hasil Analisa <i>Scouring</i> Pada Hec-Ras | 72 |
| Gambar 4. 18 Hasil Analisis <i>Scouring</i> Pada Jembatan..... | 72 |
| Gambar 4. 19 Posisi Perletakan Proteksi RipaRap | 74 |
| Gambar 4. 20 Layout Pier Jembatan | 76 |
| Gambar 4. 21 Layout Proteksi RipRap Pada <i>Pier</i> | 77 |
| Gambar 4. 22 Layout Tebal Proteksi Riprap | 77 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ekonomi dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat, hal ini menyebabkan adanya tuntutan-tuntutan untuk mempercepat pemenuhan infrastruktur sebagai penunjang kegiatan manusia, salah satunya jembatan. Jembatan merupakan prasarana transportasi yang berfungsi untuk memperlancar perpindahan barang dan manusia dari suatu tempat ke tempat lainnya. Jembatan menghubungkan daerah-daerah yang terpisah karena adanya rintangan, seperti selat, sungai atau jalan raya. Jalur Lintas Selatan (JLS) merupakan megaproyek pemerintah untuk menghubungkan daerah di wilayah selatan Jawa Timur, mulai Pacitan, Trenggalek, Tulungagung, Blitar, Malang, Lumajang, Jember, hingga Banyuwangi. Rencana panjang total dari Jalur Lintas Selatan yang akan dibangun Pemerintah mencapai 678,872 kilometer.

Kawasan Kali Tanggul anak sungai Sungai Bondoyudo, merupakan kawasan rawan banjir pada setiap musim penghujan, debit air yang melewati Kali Tanggul sangat besar dan dimensi kali tanggul yang kecil dan ditambah dengan penumpukan sedimen pada saluran Kali Tanggul menyebabkan genangan yang besar di kawasan desa Kepanjen, Kabupaten Jember. Banjir yang terjadi sampai merusak tanggul pembatas kali tanggul dan jalan desa. Rekayasa aliran sungai dilakukan pemerintah sebagaiantisipasi penanggulangan banjir di daerah tersebut. Pemerintah daerah Kabupaten Jember merencanakan bangunan, sehingga diharapkan debit yang sangat besar pada saat musim hujan dapat terbagi melalui sudetan tersebut, sehingga dapat mengurangi jumlah debit yang harus melewati kali tanggul. Rencana pembangunan sudetan ini direncanakan melewati bagian bawah Jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan), dan tidak pada sampai muara sungai/laot.

Adanya aliran air sudetan yang direncanakan akan melewati bagian bawah jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan) ini dapat

menyebabkan perubahan pada morfologi dasar berupa aggradasi atau degradasi sedimen. Jika terjadi aggradasi, dasar sungai akan mengalami pendangkalan dan tinggi bebas antara muka air sungai dengan bagian bawah jembatan juga berkurang. Jika terjadi degradasi, maka erosi dasar sungai akan mengakibatkan sungai semakin dalam, erosi tebing yang mengakibatkan sungai semakin lebar, sehingga menyebabkan terjadinya deposisi meander sungai. Selain itu perubahan yang terjadi akibat adanya aliran di bawah jembatan dapat

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disebutkan di atas, rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa debit rencana yang akan melewati rencana sudetan?
2. Berapa tinggi muka air di sepanjang sudetan akibat debit dan pasang surut air laut?
3. Berapa gerusan lokal yang terjadi pada pilar dan abutmen jembatan?
4. Bagaimana perlindungan yang diperlukan apabila terjadi gerusan lokal pada pilar dan abutmen jembatan?
5. Berapa besar dimensi perlindungan *scouring* yang diperlukan pada pilar dan abutmen jembatan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan uraian rumusan masalah di atas maka dapat diambil tujuan penulis tugas akhir ini antara lain :

1. Mengetahui besar debit rencana pada rencana sudetan Kali Tanggul.
2. Mengetahui tinggi muka air di sepanjang sudetan akibat debit dan pasang surut air laut.
3. Mengetahui besar gerusan lokal yang terjadi pada pilar dan abutmen jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan).
4. Mengetahui perlindungan yang diperlukan pada pilar dan abutmen jembatan apabila terjadi gerusan lokal.

5. Mengetahui dimensi perlindungan *scouring* yang diperlukan pada pilar dan abutmen jembatan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini antara lain :

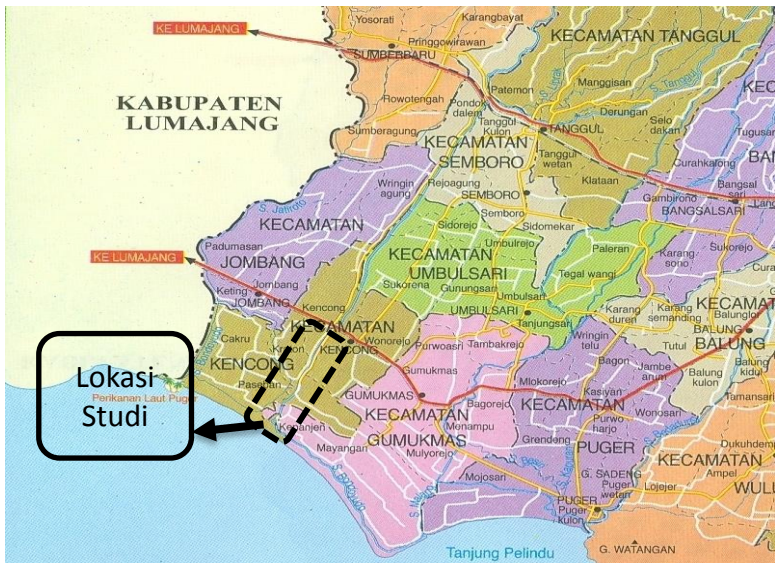
1. Dalam pengerjaan tugas akhir ini tidak mempertimbangkan analisa biaya.
2. Objek studi adalah dasar kali Tanggul yang berada di bawah jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan).
3. Dalam analisa penanggulangan *scouring* tidak memperhitungkan struktur bangunan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah, dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang hidrolika yang berkaitan dengan sedimentasi dan gerusan lokal.

1.6 Lokasi Studi

Lokasi studi yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini adalah jembatan Kali Tanggul, yang rencananya akan dilewati oleh rencana sudetan kali tanggul Lumajang, seperti yang terlihat pada Gambar 1.1



Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian
Sumber: Google, 2018

BAB II

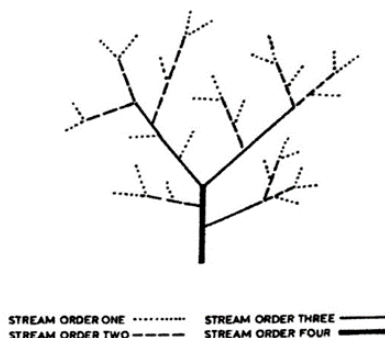
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam bab ini, akan dijelaskan dasar teori yang akan digunakan dalam analisa scouring pada bangunan bawah jembatan akibat di bangunnya sudetan dan evaluasi tinggi tanggul akibat pasang surut di bagian muara di kali tanggul, Lumajang. Pada akhir tugas akhir ini akan didapatkan besar scouring yang terjadi pada bagian bawah jembatan dan analisa perlindungannya. Serta penentuan tinggi tanggul akibat pasang surut air laut.

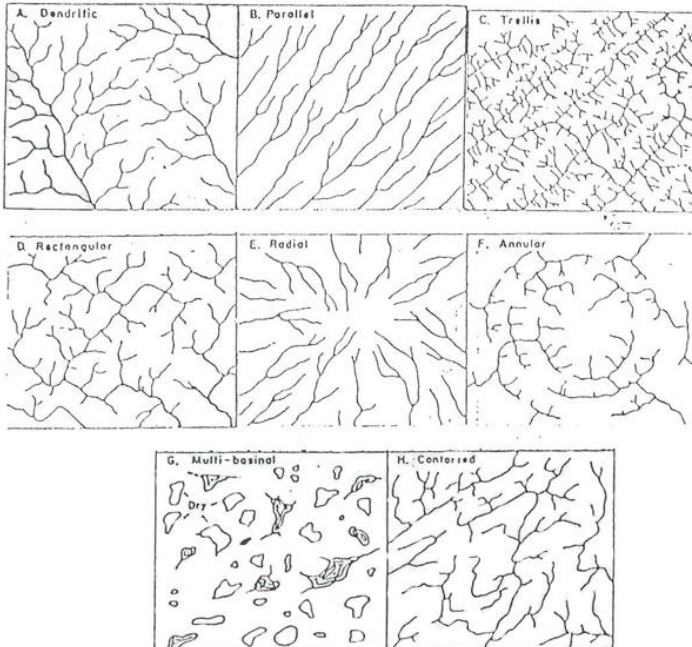
2.2 Daerah Liran Sungai

Daerah aliran sungai merupakan suatu luasan di mana aliran permukaan di luasan tersebut mengalir menuju suatu titik konsentrasi tertentu. Setiap anak sungai dan ruas sungai mempunyai hirarki tersendiri yang dinamakan tingkat aliran seperti yang terlihat pada **Gambar 2.1** di bawah ini.



Gambar 2. 1Tingkat Aliran Sungai
Sumber : Principles of River Engineering, 2000

Corak DAS tergantung pada kondisi geologinya, seperti pada **Gambar 2.2** yang menunjukkan macam-macam jenis corak daerah aliran sungai.



Gambar 2. 2 Corak Daerah Aliran Sungai (DAS)

Sumber : Modul Teknik Sungai, 2008

Keterangan :

- a. ***Dendritic***, terdapat pada daerah cadas (*rock*) dimana resistan terhadap erosi seragam, kemiringan medan sedang.
- b. ***Pararel***, terdapat pada daerah yang kemiringan medannya curam.

- c. ***Trellis***, terdapat pada daerah lipatan cadas dengan batas catchmen area terbentuk sepanjang daerah cadas yang resistan dan lembah yang terdiri dari batuan cadas yang erosif.
- d. ***Rectangular***, terdapat pada daerah di mana *joints* dan patahan berpotongan pada sudut siku-siku.
- e. ***Radial***, terdapat menyisi pada daerah perbukitan dan daerah volkano dimana tidak ada efek perbedaan resistensi membentuk lembah.
- f. ***Annular***, terdapat pada daerah perbukitan yang resistan membentuk batas catchmen, dan cadas yang lemah membentuk lembah.
- g. ***Multi basinal***, terdapat pada daerah di mana pola asli drainase dihancurkan oleh aliran glacial, aliran lahar baru atau peleburan batu kapur.
- h. ***Contorted***, terdapat pada daerah dengan kondisi geologi yang kompleks di mana patahan atau cadas metamorf mengontrol pola drainase.

2.3 Tipe Sungai

2.3.1 Berdasarkan Aliran

Ada tiga tipe sungai berdasarkan pola alirannya, yaitu:

- a. **Sungai perenial**, yaitu sungai yang berair sepanjang tahun karena muka air tanah lebih tinggi dari dasar sungai.
- b. **Sungai intermitten**, sungai berair saat muka air tanah lebih tinggi dari dasar sungai, dan tidak berair bila muka air tanah lebih rendah dari dasar sungai.
- c. **Sungai ephemeral**, sungai hanya berair saat hujan saja, karena muka air tanah selalu berada di bawah dasar sungai.

2.3.2 Berdasarkan Umur dan Geometrik

Sungai dapat diklasifikasikan berdasar perkembangan proses erosi:

- a. **Sungai muda (*youthfull*)**, terdapat di pegunungan, penampang berbentuk V tidak beraturan, berarus deras, banyak terjadi erosi, seperti halnya sungai-sungai yang berada di daerah pegunungan. Anak-anak sungai terbentuk oleh aliran permukaan (*overland flow*).
- b. **Sungai dewasa (*mature*)**, penampang sungai dan lembah lebih lebar, kemiringan lebih landai, erosi ke arah tebing lebih banyak dibanding erosi dasar, terdapat pola meander. Energi sungai cukup untuk mengangkut sedimen.
- c. **Sungai tua (*old*)**, penampang sungai lebih lebar dari sungai dewasa, kemiringan lebih landai, terdapat meander dan meander belt. Terbentuk tanggul alam sepanjang sungai. Pada daerah-daerah rendah dekat sungai terdapat rawa-rawa.

2.3.3 Berdasarkan Sistem

Bentuk sungai sering dikategorikan sebagai *meandering* atau *braided*.

- a. Braiding, ditandai oleh sedimen yang relatif tinggi, perbedaan kemiringan yang relatif tinggi pula, aliran atau arus yang bervariasi dan lereng yang tidak stabil.
- b. Meandering, kebalikan dari sungai tipe *braiding*.

2.4 Hidrolika Sungai

2.4.1. Jenis aliran

1. Aliran Laminar dan Turbulen.

Aliran laminar, terjadi pada aliran zat cair dengan kecepatan relatif rendah. Tegangan geser dinyatakan dengan hukum kekekalan Newton.

$$\tau_v = \rho v \cdot \frac{dv}{dz} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

τ_v = tegangan geser viskus

ρ = rapat massa air

ν = viskositas kinematis ($10^4 \text{ m}^2/\text{dt}$)

Aliran turbulen, terjadi karena kondisi ketidakstabilan dalam alir. Fenomena aliran turbulen adalah fluktuasi dari kecepatan, yakni.

$$V = v + v' \dots\dots\dots (2.2)$$

$$W = w + w' \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

V, W = kecepatan sebarang dalam arah sumbu x dan y

v, w = kecepatan rata-rata terhadap waktu dalam arah sumbu x dan y

v', w' = fluktuasi kecepatan sebarang dalam arah sumbu x dan y

Dalam aliran turbulen, partikel air bergerak tidak beraturan. Tegangan geser turbulen, berdasarkan persamaan Navier-Stoke:

$$\tau_t = \overline{\rho v' \cdot w'} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

τ_t = tegangan geser turbulen

ρ = rapat massa air

ν = viskositas kinematis ($10^6 \text{ m}^2/\text{dt}$)

Pada aliran turbulen, viskositas dan turbulensi berkontribusi dalam tegangan geser, sehingga tegangan geser total,

$$\tau = \rho \nu \cdot \frac{dv}{dz} + (-\overline{\rho v' \cdot w'}) \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Aliran *steady* dan *unsteady*

Aliran *steady*, jika sifat-sifat aliran konstan pada setiap titik atau tempat tidak tergantung waktu.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

Aliran *unsteady*, jika sifat-sifat aliran tidak tetap pada setiap titik atau tempat tergantung waktu.

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$$

3. Aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*).

Aliran seragam, jika kecepatan aliran disepanjang saluran tetap, dalam hal kecepatan aliran tidak tergantung pada tempat atau tidak berubah menurut tempatnya.

$$\frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

Aliran tidak seragam, jika kecepatan aliran di sepanjang saluran tidak tetap, dalam hal kecepatan aliran tergantung pada tempat atau berubah menurut tempatnya.

$$\frac{\partial V}{\partial x} \neq 0$$

4. Lapisan Batas Aliran

Prandtl mengembangkan konsep lapisan batas, yang memperlihatkan hubungan penting antara aliran fluida sebenarnya. Zat cair yang mempunyai viskositas kecil, efek gesekan dalam aliran hanya ada dalam suatu lapisan tipis sekitar batas-batas aliran. Tebal lapisan batas (δ) adalah jarak dari permukaan batas sampai pada titik dimana $v = 0,995 V$. Lapisan batas dinyatakan:

Aliran Laminer

$$\frac{\delta}{x} = 5 \left(\frac{V \cdot x}{\nu} \right)^{-0,5}$$

jika Rex

$$R_{ex} = \frac{V \cdot x}{\nu} < 5 \times 10^5$$

Aliran Turbulen

$$\frac{\delta}{x} = 0,4 \left(\frac{V \cdot x}{\nu} \right)^{-0,2}$$

jika Rex

$$R_{ex} = \frac{V \cdot x}{\nu} > 5 \times 10^5$$

2.4.2. Tegangan Geser Dasar Aliran dan Kecepatan Geser

1. Tegangan Geser Fluida Atau Dasar Saluran

Gaya pada elemen fluida, aliran seragam, sehingga keseimbangan gaya dalam arah-x.

$$\tau_z \cdot \Delta x = \rho g (h - z) \cdot \Delta x \cdot \sin \beta$$

Untuk kemiringan kecil, sehingga $\sin \beta \approx \tan \beta = I$

$$\tau_z = \rho g (h - z) \cdot I$$

Tegangan geser dasar

$$\tau_z = \tau_{z=0} = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Tegangan Geser Dasar (*bottom shear stress*)

Tegangan geser bekerja pada perubahan batas sepanjang keliling basah. Tegangan geser dasar adalah tegangan geser rata-rata sepanjang keliling basah.

$$\tau_b \cdot O \cdot \Delta x = \rho \cdot g \cdot A \cdot \Delta x \cdot \sin \beta$$

..... (2.7)

Dimana:

O = Keliling basah

A = Luas penampang dan radius hidrolis $R = A/O$

Tegangan geser dasar (*bottom shear stress*)

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot I$$

..... (2.8)

Apabila saluran yang ditinjau adalah saluran yang sangat lebar dan dangkal di mana $R \approx h$,

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot I$$

3. Kecepatan Geser

Tegangan geser dasar sering dinyatakan dengan kecepatan geser (*friction velocity*).

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \text{ atau } U_* = \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

4. Tegangan Geser Viskus dan Tegangan Geser Turbulen

Tegangan geser dalam aliran bertambah secara linier dengan bertambahnya kedalaman air. Tegangan geser sejalan dengan viskositas dan turbulensi, maka:

$$\tau_b = \tau_v + \tau_t = \rho \cdot g(h - z) \cdot S \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Pada permukaan dasar saluran dimana tidak ada turbulensi ($u=w=0, u'=w'=0$), maka tegangan geser turbulen:

$$\tau_t = \overline{\rho v' \cdot w'} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Pada lapisan yang sangat tipis di atas dasar, tegangan geser viskus dominan, maka **aliran laminar**, lapisan ini disebut **viscous sub-layer** (sub lapisan viskus). Di atasnya (yang merupakan bagian besar aliran), tegangan geser turbulen dominan. Tegangan geser pada viscous sub-layer adalah konstan dan sama dengan tegangan geser dasar, tidak bertambah secara linier terhadap kedalaman.

2.4.1. Klasifikasi Lapisan Aliran

1. Klasifikasi Secara Teoritis:

- a. **Viscous sublayer atau sub lapisan viskus**, lapisan tipis di atas dasar aliran, tidak ada turbulensi, tegangan geser viskus konstan, aliran **Laminar**, di atas lapisan ini adalah aliran **Turbulen**.
- b. **Transition layer atau lapisan transisi**, disebut juga lapisan penyangga, viskositas dan turbulen sama pentingnya.
- c. **Turbulent logarithmic layer atau lapisan turbulen logaritmik**, tegangan geser viskus dapat diabaikan, di sini dianggap tegangan geser turbulen konstan dan sama dengan tegangan geser dasar. Di lapisan ini Prandtl memperkenalkan konsep *mixing length* dan didapatkan **Profil Kecepatan Logaritmik**.
- d. **Turbulent outer layer**, kecepatan hampir konstan.

2. Klarifikasi secara teknis

Secara teoritis, dalam lapisan turbulen logaritmik memperlihatkan bahwa tegangan geser turbulen \approx tegangan geser dasar. Dengan asumsi *mixing length* \approx jarak terhdap dasar. Prandtl mendapatkan profil dengan profil kecepatan logaritmik meliputi;

lapisan transisi, lapisan logaritmik turbulen dan lapisan turbulen luar.

Berdasarkan data eksperimental, maka secara lapisan aliran teknis;

a. ***Hydraulically smooth flow***

Jika kekasaran dasar jauh lebih kecil daripada ketebalan *viscous sublayer*. Karena itu kekasaran dasar tidak mempengaruhi distribusi kecepatan.

$$\frac{U_* k_s}{\nu} \leq 5$$

b. ***Hydraulically rough flow***

Kekasaran dasar besar, *viscous sub-layer* tidak terjadi dan kecepatan aliran tidak tergantung pada viskositas.

$$\frac{U_* k_s}{\nu} \geq 7$$

c. ***Hydraulically transitional flow***

Distribusi kecepatan dipengaruhi oleh kekasaran dasar dan viskositas.

$$5 < \frac{U_* k_s}{\nu} < 7$$

2.5 Transportasi Sedimen

Proses transportasi sedimen, yaitu mempelajari tempat bahan granular (non kohesif), yang disebabkan oleh aliran air, sedangkan besarnya angkutan sedimen ditentukan dari perpindahan tempat sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu tertentu.

Perbedaan sedimen, cara transportasi dan asalnya, yaitu:

1. ***Bed Load***, adalah partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan atau dapat juga disebut muatan sedimen dasar. Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel dasar sungai, gerakan ini dapat bergeser, melompat, menggelinding, namun tidak terlepas dari dasar sungai. Gerakan ini mampu terjadi pada jarak tertentu, dan tenaga yang

menggerakkan pertama kali adalah tenaga tarik (*drag force*) yang dengan kapasitas tertentu dapat menggerakkan partikel dasar sungai.

2. *Suspended Load*, adalah muatan sedimen yang bergerak melayang dalam suatu aliran dan didukung oleh air, serta memiliki intensitas interaksi kecil terhadap dasar sungai, akibat dari turbulensi air.

2.5.1. Awal Gerak Butiran

Gaya-gaya hidrodinamika yang timbul sebagai akibat adanya aliran, bekerja pada material sedimen dasar yang cenderung menyebabkan butiran sedimen bergerak. Gerakan sedimen dapat berupa menggelinding, meloncat dan menggeser. Kondisi dimana gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja menyebabkan suatu butiran mulai bergerak disebut kondisi awal bergerak. Graf (1984) menjelaskan awal gerak butiran sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan persamaan kecepatan kritis yakni dengan mempertimbangkan pengaruh aliran terhadap butiran.
2. Dengan kondisi tegangan gesek kritis yakni dengan mempertimbangkan hambatan gesek dari aliran terhadap butiran.
3. Kriteria gaya angkat yakni dengan mempertimbangkan perbedaan tegangan yang menyebabkan terjadinya gradien kecepatan.

Kriteria tegangan gesek kritis berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada aliran permanen seragam dapat dikategorikan sebagai gaya pendorong berupa gaya tekan hidrostatis yang saling meniadakan. Gaya tekanan atmosfer, serta gaya berat dan gaya penghambat merupakan gaya perlawanan terhadap gaya pendorong.

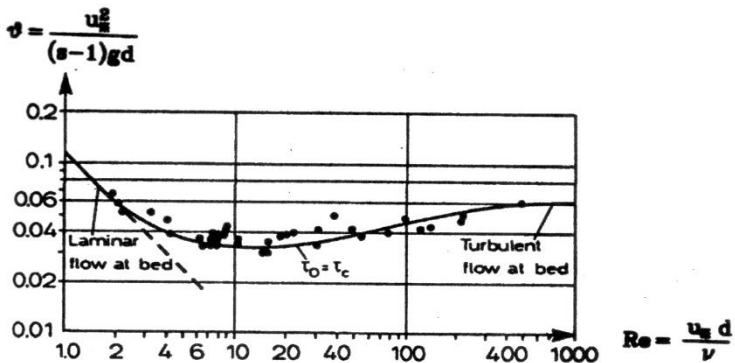
Sedimen mulai bergerak jika:

$$U_* > U_{*,cr} \rightarrow \text{kecepatan geser kritis } U_{*,cr}$$

atau $\tau_b > \tau_{b,cr} \rightarrow$ tegangan geser dasar kritis $\tau_{b,cr} = \rho \cdot U_{*,cr}$

atau $\theta > \theta_{cr} \rightarrow$ parameter shield kritis $\theta_{cr} = \frac{U_{*,cr}^2}{(s-1)g.d}$
dari formula sebelumnya;

$$Re = \omega_s \cdot (d/\nu) = \frac{u_* \cdot d_n}{\nu}$$

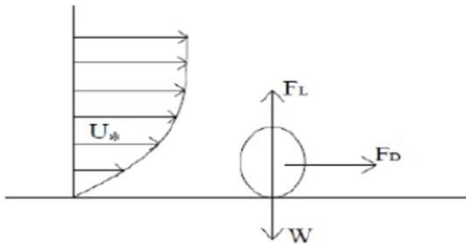


Gambar 2. 3 Diagram Shield memperlihatkan θ_c sebagai Fungsi Re

Sumber: Sediment Transport, 2008

Diagram Shield agak sulit digunakan karena niali u_* berada pada dua sisi sumbu.

2.5.2. Persamaan Angkutan Sedimen



Gambar 2. 4 Diagram Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Butiran Sedimen.

Sumber: Sediment Transport, 2008

Jika suatu aliran melampaui kriteria permulaan gerak, sedimen akan mulai bergerak. Jika sedimen melalui proses *rolling*, *sliding* dan kadang juga *jumping* maka ini disebut *bed load transport* (angkutan sedimen di dasar saluran/beban dasar) dimana paada saat bergerak selalu menyentuh dasar saluran. Pada umumnya angkutan sedimen/beban dasar sekitar 5-25% dari angkutan bebas suspensi/*suspended load transport*. Jika pada suatu tempat mempunyai material/sedimen kasar maka kemungkinan sebagian besar sedimen/material akan bergerak sebagai angkutan sedimen.

Berikut ini adalah rumus-rumus untuk menyimulasikan kapasitas sedimen yang terdapat pada program Hec-Ras 4.1.0:

1. Acker dan White

$$X = \frac{G_{gr} \cdot s \cdot d_s}{D \cdot \left(\frac{U_*}{V}\right)^n} \quad \text{dan} \quad G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

- X = konsentrasi sedimen per segmen
- G_{gr} = parameter transport sedimen
- s = *spesific gravity* sedimen
- d_s = nilai tengah diameter partikel
- D = kedalaman efektif

- U_* = kecepatan geser
 n = *transition exponen* (tergantung ukuran sedimen)
 C = koefisien
 F_{gr} = parameter mobilitas sedimen
 A = parameter mobilitas sedimen kritis

2. Englund Hansen

$$g_s = 0.05 \cdot \gamma_s \cdot V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1)} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}} \right]^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

- g_s = *unit sediment* transport
 γ = berat jenis air
 γ_s = berat jenis sedimen
 τ_0 = tegangan geser dasar
 V = kecepatan rata² saluran
 d_{50} = ukuran partikel 50%

3. Laursen-Copeland

$$C_m = 0.01 \gamma \left(\frac{d_s}{D} \right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1 \right) f \left(\frac{U_*}{\omega} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

- C_m = konsentrasi aliran sedimen
 γ = berat jenis air
 d_s = nilai tengah diameter partikel
 D = kedalaman efektif
 τ_0 = tegangan geser dasar
 τ_c = tegangan geser dasar kritis
 $f \left(\frac{U_*}{\omega} \right)$ = fungsi dari rasio kecepatan geser dan kecepatan

4. Meyer-Peter Muller

$$\left(\frac{k_r}{k'_r} \right)^{3/2} \cdot \gamma R S = 0.047 (\gamma_s - \gamma) \cdot d_m + 0.25 \left(\frac{\gamma}{g} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s} \right)^{2/3} \cdot g_s \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- g_s = unit *sediment transport rate* dalam berat/waktu
 k_r = koefisien kekasaran
 k'_r = koefisien kekasaran berdasarkan butiran
 γ = berat jenis air
 γ_s = berat jenis sedimen
 g = percepatan gravitasi
 d_m = nilai tengah diameter partikel
 R = radius hidrolis
 S = gradien energy

5. Toffaleti

$$\begin{aligned}
 g_{SSL} &= M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-0,756z} - 2d_m^{1+n_v-0,756z}}{1 + n_v - 0,756z} \\
 g_{SSM} &= M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left[\left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-z} - \left(\frac{R}{11,24}\right)^{1+n_v-z} \right]}{1 + n_v - z} \\
 g_{SSU} &= M \frac{\left(\frac{R}{11,24}\right)^{0,244z} \left(\frac{R}{2,5}\right)^{0,5z} \left[R^{1+n_v-1,5z} - \left(\frac{R}{2,5}\right)^{1+n_v-1,5z} \right]}{1 + n_v - 1,5z} \\
 g_{sb} &= M(2d_m)^{1+n_v-0,756z} \\
 M &= 43,2C_L(1 + n_v)VR^{0,756z-n_v} \\
 g_s &= g_{SSL} + g_{SSM} + g_{SSU} + g_{sb}
 \end{aligned}$$

Dimana:

- g_{SSL} = angkutan sedimen tererupsi pada *lower zone* (ton/hari/ft)
 g_{SSM} = angkutan sedimen tererupsi pada *middle zone* (ton/hari/ft)
 g_{SSU} = angkutan sedimen tererupsi pada *upper zone* (ton/hari/ft)
 g_{sb} = angkutan sedimen dasar (ton/hari/ft)

| | |
|-------|---|
| g_s | = total angkutan sedimen (ton/hari/ft) |
| M | = parameter konsentrasi sedimen |
| C_L | = konsentrasi sedimen pada <i>lower zone</i> |
| R | = jari-jari hidraulik |
| d_m | = diameter rata-rata butiran |
| z | = eksponen hubungan antara sedimendan karakteristik hidraulik |
| n_v | = eksponen suhu |

6. Yang

Untuk pasir $d_m < 2\text{mm}$

$$\log C_t = 5,435 - 0,286 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,457 \log \frac{U_*}{\omega} + \left(2,784 - 0,305 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,314 \log \frac{U_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right)$$

Untuk pasir $d_m \geq 2\text{mm}$

$$\log C_t = 6,681 - 0,633 \log \frac{\omega d_m}{v} - 4,816 \log \frac{U_*}{\omega} + \left(2,784 - 0,305 \log \frac{\omega d_m}{v} - 0,282 \log \frac{U_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right)$$

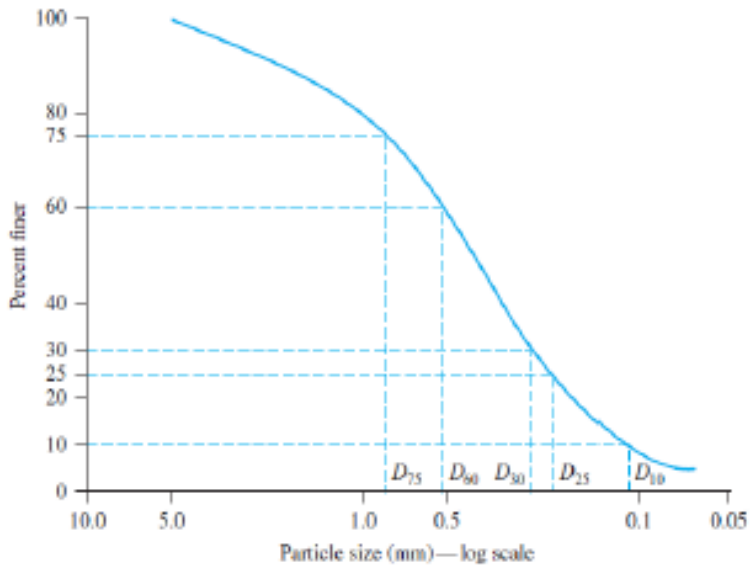
Dimana:

| | |
|----------|------------------------------|
| C_t | = total konsentrasi sedimen |
| ω | = kecepatan jatuh partikel |
| v | = diameter rata-rata butiran |
| u^* | = kecepatan geser |
| V | = kecepatan rata-rata |
| S | = kemiringan |

2.5.3. Kurva Distribusi Ukuran Butiran

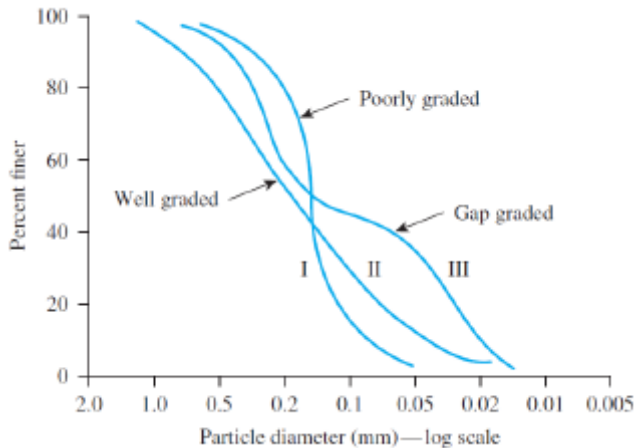
Diametere partikel (butiran) digambarkan dalam grafik logaritmik dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitungan biasa seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Dari grafik pada gambar dapat diketahui bahwa yang dimaksud D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} dan D_{10} adalah ukuran diameter butiran ayakanyang ditentukan dari kurva distribusi

ukuran butiran atau dengan kata lain diameter yang mewakili distribusi ayakan pada presentase tertentu.



Gambar 2. 5 definisi dari D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} dan D_{10}

Sumber: Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition, 2000



Gambar 2. 6 Kurva Distribusi Butiran

Sumber: Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition, 2000

Kurva distribusi ukuran butiran tidak hanya menunjukkan rentang (*range*) dari ukuran butir yang dikandung di dalam tanah saja, tetapi juga menunjukkan tipe kurva distribusi ukuran butiran tersebut, seperti yang terlihat pada gambar di atas. Kurva I mewakili suatu tipe tanah dimana sebagian besar dari butirannya mempunyai ukuran yang sama dan disebut tanah bergradasi buruk (*poorly graded*). Kurva II mewakili tanah di mana ukuran butirannya terbagi merata di dalam rentang yang lebar dan dinamakan (*well graded*). Suatu tanah mungkin mempunyai kombinasi dari dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama, jenis tanah tersebut diwakili oleh kurva III yang dinamakan tanah bergradasi senjang (*gap graded*).

2.5.4. Degradasi

Berbeda dengan panjang gerusan yang mana adalah penurunan dasar sungai terlokalisir, degradasi diartikan sebagai penurunan dasar jarak jauh. Degradasi dapat terjadi di sungai atau hilir sungai atau keduanya. Contoh yang paling mudah dari

degradasi hilir sungai adalah dam yang menangkap sedimen dan melepaskan air jernih. Degradasi di hulu terjadi ketika air di hilir sungai menurun; seperti pada permukaan danau, penambangan lokal material dasar dan proses terjadinya degradasi di hulu lebih cepat daripada dibagian hilir.

2.5.5. Agradasi

Agradasi terjadi ketika elevasi dasar sungai bertambah tinggi. Agradasi dasar sungai sering dihubungkan dengan jumlah sedimen yang berlebih. Agradasi dapat menjadi masalah serius dari struktur pengalih air yang efektif menangkap sedimen. Kemudian muatan sedimen dibawa dari hulu oleh aliran yang tereduksi. Agradasi dan degradasi mirip seperti jungkat-jungkit, pada satu sisi adalah ukuran butiran sebagai lengan momen beratnya sebagai muatan sedimen, sedangkan di sisi lainnya kemiringan dari dasar sungai dan kecepatan aliran. Jika agradasi mendominasi maka sungai akan terdegradasi dan akan teragradasi.

2.6 Gerusan (*Scouring*)

2.6.1. Jenis – Jenis Gerusan

Secara umum adanya gerusan dapat menjadi masalah yang bisa menyebabkan kerusakan pada kestabilan struktur jembatan. Gerusan (*scouring*) merupakan proses alamiah yang terjadi di sungai akibat pengaruh morfologi sungai atau adanya bangunan air. Bresuers dan Raudviki (1991) mendefinisikan gerusan terjadi pada suatu struktur dapat dibagi berdasarkan dua karakteristik, yaitu:

1. Tipe Gerusan

- a. Gerusan umum (*general scour*) merupakan gerusan yang terjadi akibat dari proses alami dan tidak berkaitan dengan adanya bangunan sungai.
- b. Gerusan di lokalisir (*constriction scour*) merupakan gerusan yang disebabkan oleh penyempitan alur sungai akibat adanya bangunan air.

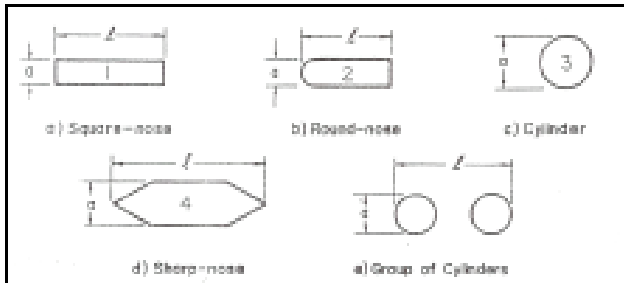
- c. Gerusan lokal (*local scour*) merupakan gerusan akibat langsung dari struktur pada aliran sungai. Proses terjadinya gerusan lokal biasa dipicu oleh tertahannya angkutan sedimen yang dibawa aliran akibat adanya struktur yang berupa pada alur sungai.

2. Gerusan Dalam Perbedaan Kondisi Angkutan

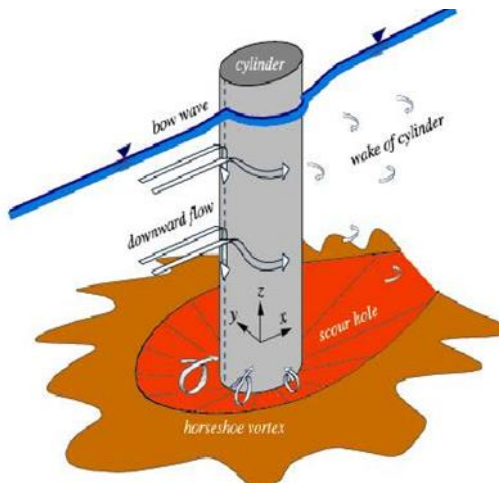
- a. Kondisi *clean water scour*, dimana gerusan dengan air bersih terjadi jika material dasar sungai di bagian hulu gerusan dalam keadaan diam atau tidak terangkut.
- b. Kondisi *live bed scour*, di mana gerusan yang disertai dengan angkutan sedimen material dasar saluran.

2.6.2. Gerusan Pada Pilar Jembatan

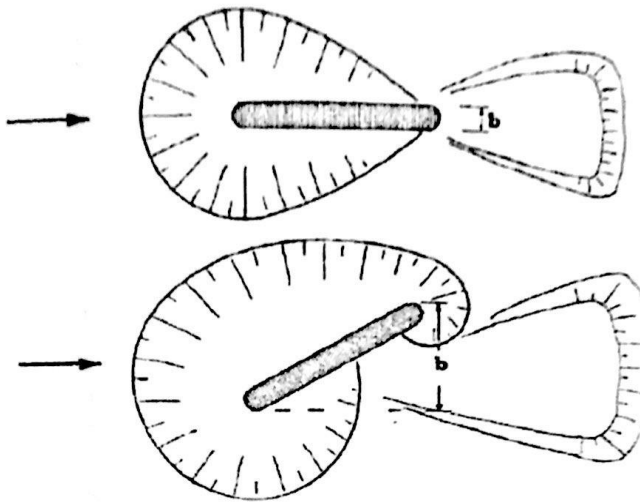
Pilar jembatan adalah bagian dari struktur jembatan (struktur bawah) yang berfungsi sebagai penahan jembatan, yang terletak di antara kedua abutmen (pondasi jembatan), atau biasa disebut *pier*. Ada beberapa jenis pilar, yang mana dalam pemilihannya didasarkan pada analisa struktur, ekonomi, dan lain sebagainya. Jenis-jenis pilar tersebut dapat dilihat pada tabel dan gambar. Kedalaman dari gerusan untuk semua jenis pilar, kecuali pilar dengan bentuk silinder, sangat kuat dipengaruhi oleh arah pilar terhadap aliran. Semakin besar sudut serang, titik kedalaman gerusan maksimum berpindah dari sisi bagian depan ke sisi bagian belakang pilar, sehingga kedalaman pada sisi bagian belakang lebih besar dibandingkan dengan bagian depan seperti pada gambar 2.8



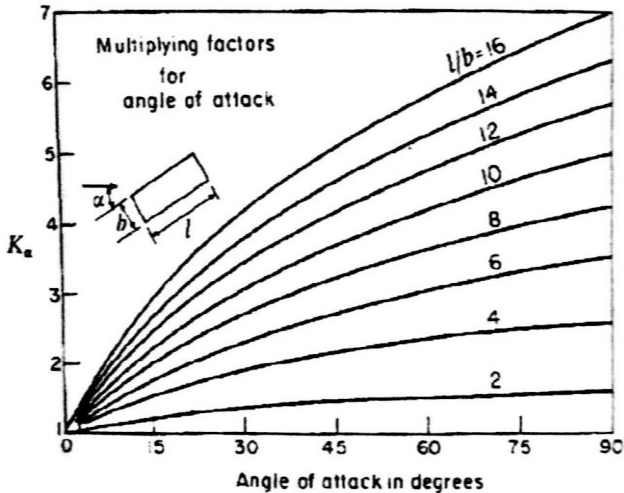
Gambar 2. 7 Bentuk Ujung Pilar
Sumber: Scouring, 2008



Gambar 2. 8 Pola Gerusan Pada Pilar Silinder
Sumber: Scouring, 2008



Gambar 2. 9 Bentuk Gerusan Terhadap Posisi Pilar
Sumber: Scouring, 2008



Gambar 2. 10 Grafik Faktor Posisi K_a Untuk Pilar yang Tidak Sejajar Aliran

Sumber: Scouring, 2008

2.6.3. Persamaan Gerusan Lokal Pada Pilar

Dalam analisa kedalaman *scouring* secara umum digunakan rumus Lacey berikut:

$$d = 0,473 \cdot \left(\frac{Q}{f}\right)^{0,33} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

d = kedalaman normal *scouring* dari tanah dasar sungai (m)

Q = debit (m^3/dt)

f = faktor lempung Lacey, dimana merupakan fungsi matrix dasar

$$= 1,76 \times \sqrt{(\text{ukuran biutiran})}$$

Tabel 2. 1 faktor lempung Lacey berdasarkan tanah

| No | Jenis Material | Diameter (mm) | Faktor (f) |
|----|---|---------------|------------|
| 1 | lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>) | 0,052 | 0,4 |
| 2 | Lanau halus (<i>fine silt</i>) | 0,120 | 0,8 |
| 3 | Lanau sedang (<i>medium silt</i>) | 0,233 | 0,85 |
| 4 | Lanau (<i>standart silt</i>) | 0,322 | 1,00 |
| 5 | Pasir (<i>medium sand</i>) | 0,505 | 1,20 |
| 6 | Pasir kasar (<i>coarse sand</i>) | 0,725 | 1,50 |
| 7 | Kerikil (<i>heavy sand</i>) | 0,920 | 2,00 |

Persamaan Garde dan Raju

Persamaan Garde dan Raju digunakan pada gerusan lokal di sekitar pilar jembatan, spur dan abutmen jembatan untuk aliran *clear water scour* dan *live-bed scour*. Kedalaman gerusan tak berdimensi, D/D_0 dinyatakan:

$$D = \left[\frac{4}{\alpha} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \left(\frac{U}{\sqrt{gy}} \right)^{n^*} \right] y \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

U = nilai kecepatan aliran rata² (m/dt)

D = kedalaman gerusan maksimum diukur dari muka air (y_o + y_s) (m)

y_o = kedalaman aliran (m)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

α = perbandingan bukaan (B-L)/B

n^* = eksponen, fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan

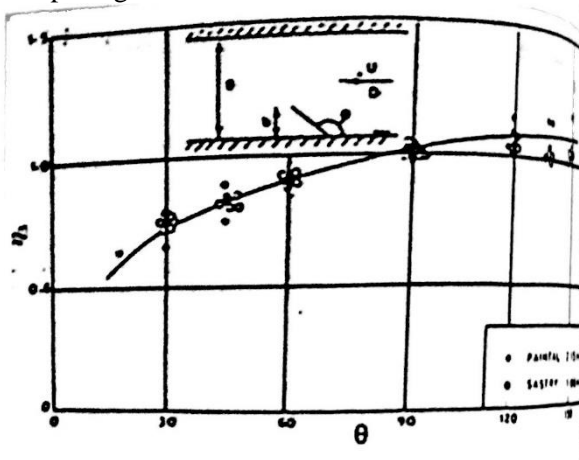
$\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$ = koefisien.

Seperti ditunjukkan pada Tabel nilai η_1 dan n hanya dipengaruhi ukuran sedimen.

Tabel 2. 2 Nilai η_1 dan n^* untuk Berbagai Diameter Butiran Sedimen

| D (mm) | 0,29 | 0,45 | 1 | 2,15 | 4 | 7,5 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| η_1 | 1 | 1,09 | 1,15 | 1 | 0,85 | 0,66 |
| n^* | 0,68 | 0,85 | 0,85 | 0,93 | 1,05 | 0,9 |

Koefisien η_2 merupakan pengaruh perbandingan panjang dan lebar pilar terhadap gerusan. Koefisien η_3 merupakan pengaruh variasi sudut kecenderungan terhadap gerusan (θ) yang ditunjukkan pada gambar 2.11



Gambar 2. 11 Hubungan θ dan η_3

Sumber: Scouring, 2008

Koefisien η_4 merupakan pengaruh bentuk pilar terhadap gerusan seperti ditampilkan table 2.3

Tabel 2. 3 Pengaruh Bentuk Pier Nose Terhadap Gerusan

| Bentuk | | η_4 |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|
| <i>Rectangular</i> | | 1.00 |
| Circular (or semicircular nose) | | 0.81 - 0.90 |
| Lenticular nose | (2:1) | 0.80 |
| | (3:1) | 0.70 |
| | (4:1) | 0.56 |
| Joukowsky pier | (5:1) | 0.67 |
| Elliptic nose | (2:1) | 0.80 |
| | (3:1) | 0.75 |
| Triangular nose | 15° | |
| | <i>appex angle</i> | 0.38 |
| | 30° | 0.52 |
| | 60° | 0.64 |
| | 90° | 0.75 |
| | 120° | 0.80 |
| | 180° | 0.86 |

Sumber: Scouring, 2008

Persamaan Neil 1964

$$\frac{y_s}{y_0} = 1. \left(\frac{b}{y_0} \right)^{0.7} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

 y_s = kedalaman gerusan (m) y_0 = kedalaman aliran (m)

b = lebar pilar (m)

Analisa *local scouring* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang diusulkan oleh Neil (1973) untuk mengetahui gerusan antara dua pilar, untuk lebih mudahnya dapat digunakan grafik pada Gambar . Namun pada tugas akhir ini

perumusan tersebut digunakan untuk acuan angkutan sedimen *bed-load scouring*.

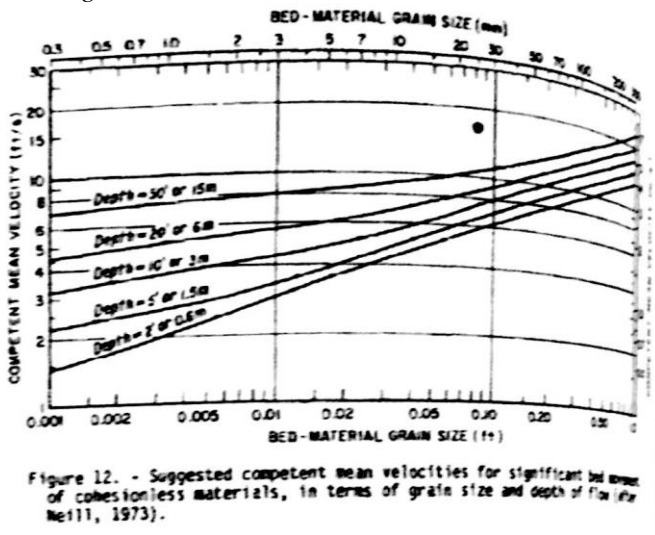


Figure 12. - Suggested competent mean velocities for significant bed movement of cohesionless materials, in terms of grain size and depth of flow (after Neill, 1973).

Gambar 2. 12 Grafik Hubungan Material Dasar
Sumber: Computing Degradation and Local Scour,

2.7 Analisa Hidrolika

Analisa hidrolika pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan program bantu Hec-Ras 4.1.0. Jenis simulasi untuk analisa hidrolika pada program ada dua, yaitu *steady* dan *unsteady flow*. *Steady flow* adalah aliran di mana ada kemungkinan perbedaan sifat-sifat aliran di setiap titik, tetapi tidak berubah terhadap waktu. Sedangkan *unsteady flow* adalah aliran dimana sifat aliran tidak tetap dan bergantung terhadap waktu.

Hasil analisa dari Hec-Ras 4.1.0 nantinya akan didapatkan besarnya *scouring* yang terjadi pada pilar jembatan. Kemudian direncanakan penanggulangan *scouring* atau perlindungannya terhadap pilar jembatan.

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran satu dimensi di sungai atau saluran, River Analysis System

(RAS), dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam Institute for Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE).

Fitur HEC-RAS terdiri dari empat komponen hitungan hidraulika satu dimensi, yaitu 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transpor sedimen (*mobile bed, moveable boundary*), dan 4) analisis kualitas air.

Untuk mendapatkan hasil analisa scouring dengan menggunakan Hec-Ras 4.1.0 iniyang harus dilakukan adalah:

1. Menggambarkan skema geometri penampang rencana sudetan.
2. Menggambarkan struktur melintang diatas sungai, dalam tugas akhir ini adalah jembatan JLS (Jalur Lintas Selatan). Dengan cara memasukkan data deck jembatan dan data bangunan bawah jembatan/pier, baik jarak maupun ukuran.
3. Menggambarkan struktur jembatan.
4. Memasukkan data debit untuk analisa hidrolika dan data pasang surut air laut
5. Menjalankan program (running) dengan metode *unsteady flow*.
6. Permodelan gerusan pada sudetan, untuk mengetahui seberapa besar gerusan yang terjadi pada pilar jembatan akibat debit rencana pada rencana sudetan. Dilakukan dengan 2 kali running program, yang pertama tanpa adanya pilar jembatan, kemudian yang kedua running dengan adanya pilar jembatan.
7. Analisa angkutan antara dua penampang sungai menggunakan rumus Neil (1973).
8. Permodelan angkutan sedimen pada Hec-Ras menggunakan analisa *quasi-unsteadyflow*.
9. Data-data sedimen dimasukkan pada tabel *sediment data editor*. Memasukkan kondisi batas pada penampang sudetan.
10. Menentukan *Transport Function*.

11. Menjalankan analisa *quasi-unsteady*. Hasil dari analisa angkutan sedimen Hec-Ras 5.0 dilihat pada *Sediment Output* dari *View* di tampilan utama.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi disusun untuk mempermudah pelaksanaan agar memperoleh pemecah masalah sesuai dengan studi yang telah ditetapkan melalui prosedur kerja yang sistematis, teratur dan tertib, sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

3.1 Studi Lapangan dan Studi Literatur

Studi lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi eksisting daerah sekitar jembatan yang ditinjau dan sepanjang rencana pembangunan tanggul sudetan. Studi lapangan ini dilakukan dengan melakukan survei kawasan studi dengan pengumpulan data-data berupa foto dokumentasi.

Studi literatur yang digunakan meliputi buku referensi, laporan atau studi yang terkait dengan gerusan lokal pada jembatan dan sedimen transport. Studi ini dilakukan sepanjang tahapan, yaitu mulai tahap awal sampai dengan analisis data pembahasan hingga dapat diperoleh kesimpulan.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan jenis data sekunder yang diperoleh dari:

1. Data Peta Topografi

Data peta topografi diperlukan untuk mengetahui kondisi topografis sungai, penampang memanjang dan melintang sungai.

2. Data hidrologi

Data hidrologi diperlukan untuk menganalisis besarnya kecepatan, kapasitas tampungan sudetan dan gaya yang menyebabkan terangkutnya butiran-butiran tanah sehingga terjadinya gerusan. Data hidrologi adalah data debit yang akan melewati sudetan.

3. Data sedimen

Data sedimen diperlukan untuk mengetahui besarnya angkutan sedimen di dalam aliran.

4. Data Topografi Long Cross Sudetan

Data topografi dan long cross sudetan digunakan untuk menentukan dimensi tanggul sudetan akibat pasang surut air laut

5. Data Pasang Surut Air Laut

Data angin dan gelombang nantinya akan digunakan sebagai acuan data pasang surut air laut, untuk menentukan dimensi tanggul sudetan.

3.3 Analisis Data dan Perhitungan

3.3.1. Analisa Hidrologi

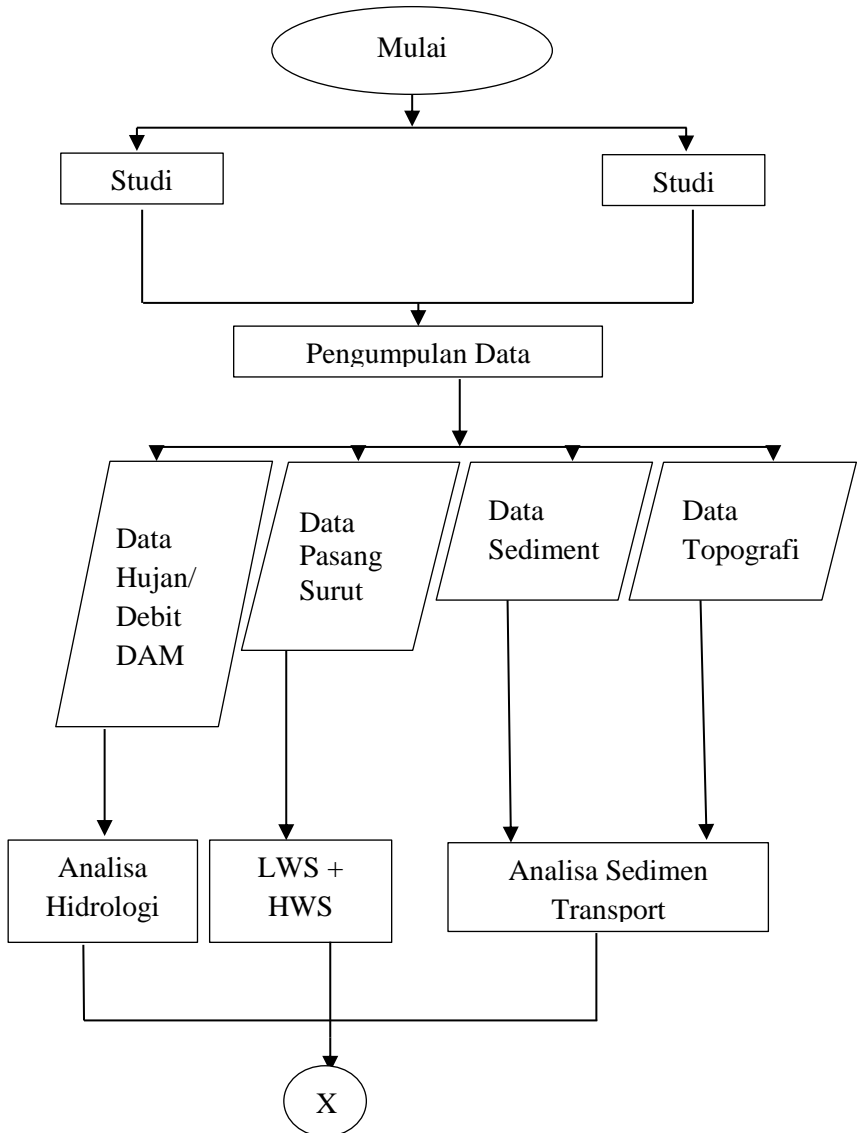
Analisa hidrologi dilakukan dengan menganalisa data debit, kemudian menghitung besarnya debit aliran rencana pada sudetan yang digunakan untuk simulasi gerusan lokal.

3.3.2. Analisa Angkutan Sedimen dan Gerusan

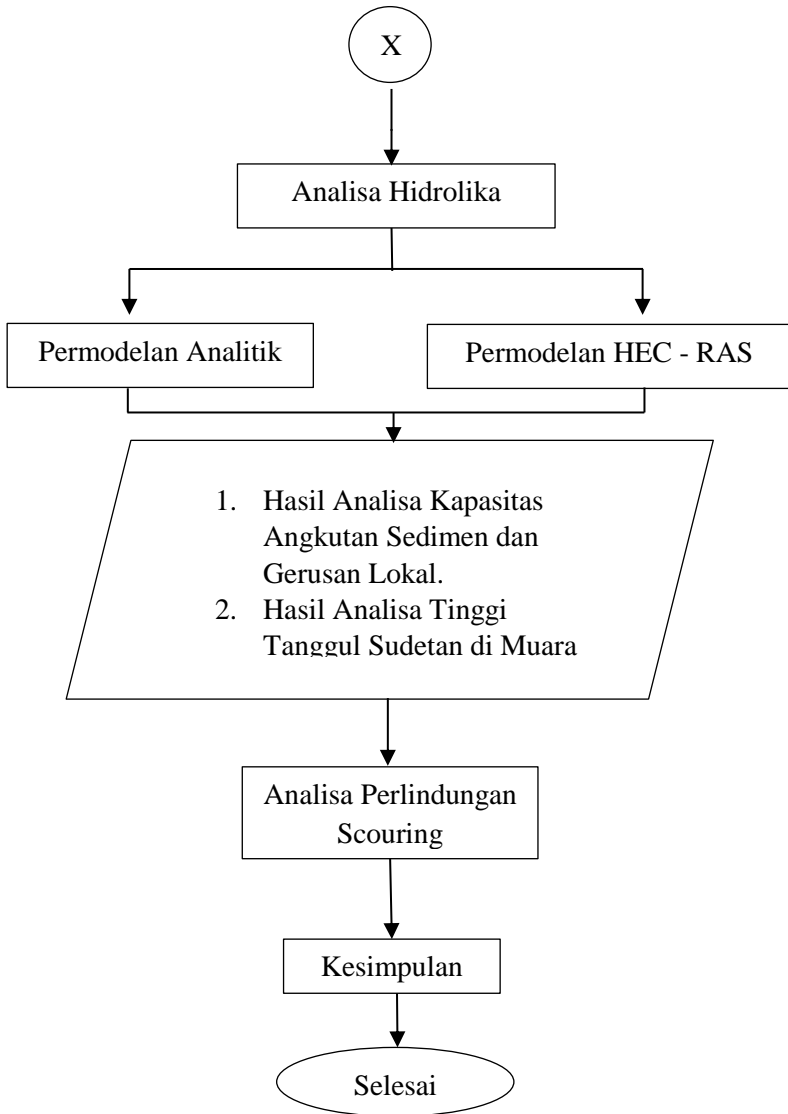
Analisa angkutan sedimen dan gerusan lokal dilakukan dengan pemodelan pada program bantu HEC-RAS, bertujuan untuk mengetahui besarnya volume transportasi sedimen dan perubahan morfologi serta kedalaman gerusan yang terjadi pada dasar sudetan di sekitar bangunan bawah Jembatan Kali Tanggul.

3.4 Bagan Alir

Bagan alir (*flow chart*) diperlukan untuk mempermudah penelitian yang akan dilakukan sehingga didapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan. Di bawah ini merupakan bagan alir pengerjaan tugas akhir ini.



Gambar 3. 1 Bagan Alir



Gambar 3. 2 Bagan Alir (Lanjutan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada tugas akhir ini penulis melakukan simulasi yang diperlukan untuk mengetahui seberapa besar gerusan lokal yang terjadi di bagian bawah jembatan kali tanggul pada rencana Sudetan Tanggul dengan menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0. pada program Hec-Ras ini membutuhkan input data-data yang sesuai agar hasil simulasi dapat se-riil mungkin. Data-data yang dibutuhkan antara lain adalah data geometrik Kali Tanggul yang meliputi gambar penampang melintang dan gambar penampang memanjang. Selain data geometrik, data debit yang melewati Kali Tanggul, pada analisa ini penulis menggunakan data debit Dam Pondokwaluh. Sudetan ini direncanakan bermuara hingga laut setelah garis ombak pecah, sehingga dibutuhkan data pasang surut air laut yang digunakan untuk syarat batas di bagian hilir sudetan nantinya. Dan yang terakhir, data sampel sedimen, menggunakan data sampel sedimen yang diambil langsung di lapangan untuk mengetahui jumlah butiran sedimen di Kali Tanggul.

Pada analisa ini penulis melakukan analisa menggunakan HEC-RAS sebanyak 3 kali desain. Analisa pertama merupakan analisa eksisting geometri Kali Tanggul dan Kali Baru. Analisa kedua, analisa penampang eksisting Kali Tanggul dan desain rencana sudetan. Dan analisa ketiga penampang eksisting Kali Tanggul yang sudah di normalisasi dengan desain rencana sudetan, pada analisa ketiga ini dilakukan analisa sampai dengan scouring yang terjadi pada pie Jembatan Kali Tanggul.

4.1 Analisa Data

Analisa data yang diperlukan dalam tugas akhir ini baik untuk input data pada program HEC-RAS maupun perhitungan analitis adalah:

1. Data debit Dam Pondokwaluh

Data debit Dam Pondokwaluh yang didapat berupa data debit harian maksimum tahunan periode Januari 2007 hingga Desember 2016. Dari data debit yang didapat dicari data debit maksimum harian dan dijadikan sebagai input data debit maksimum jam-jam an pada program Hec-Ras.

2. Potongan melintang penampang saluran

Potongan melintang penampang saluran mulai dari hulu Kali Tanggul hingga hilir Kali Baru dan juga penampang rencana desain Sudetan Kali Tanggul. Gambar potongan penampang saluran ini berupa gambar yang kemudian di inputkan berdasarkan koordinat pada progrm Microsoft Excell dan kemudian di jadikan sebagai input pada Hec-Ras.

3. Data pasang surut air laut

Data pasang surut air laut ini didapatkan dari hasil pengamatan di bagian pantai yang rencananya akan menjadi bagian hilir sudetan rencana. Data Pasang surut yang di dapat berupa data jam-jam an yang kemudian dimasukkan juga sebagai data pasang surut jam-jam an pada program Hec-Ras. Data pasang surut ini nantinya akan menjadi kondisi batas pada bagian hilir sudetan.

4. Data sampel sedimen

Data sampel sedimen pada saluran diambil di 2 lokasi berbeda sepanjang saluran Kali Tanggul, sampel pertama pada lokasi antara hilir Kali Tanggul dan hulu Kali Baru, sampel kedua diambil di 10 sampai 15 meter sebelum Jembatan Kali Tanggul.

4.1.1. Data Debit

Seperti diterangkan di atas, dalam tugas akhir ini data debit yang digunakan pada analisa hidrolika menggunakan program Hec-Ras nantinya dalah data debit yang didapat pada pencatatan data debit Dam Pondokwaluh, yang berlokasi di bagian hulu Kali Tanggul. Data yang dipakai adalah pencatatan periode Januari 2007 sampai Desember 2016. Contoh data yang debit harian maksimum seperti pada table 4.1

Tabel 4. 1 Data Debit Harian Dam Pondokwaluh

| Debit Harian Tahun 2012 | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|---------------------|--|----------------|--|--------------|--|---------------|--|
| NAMA STASIUN | | Dam Pondokwaluh | | Wilayah Sungai | | Kali Tanggul | | Kode Database | |
| Kode stasiun | | 0 | | Desa | | Pondok Waluh | | 272 | |
| Nama Sungai | | Kali Tanggul | | Kecamatan | | Kecong | | 0 | |
| Luas DPS | | 345 km ² | | Kabupaten | | Jember | | Tipe | |
| Lintang Selatan | | 08o 07' 00" | | | | | | Pengelola | |
| Bujur Timur | | 113o 13' 00" | | | | | | Soepardi ST | |

| TANGGAL | BULAN (Luar) | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AGS | SEP | OKT | NOV | DES |
| 1 | 94734,00 | 27941,00 | 52004,00 | 47482,00 | 15812,00 | 5460,00 | 4839,00 | 3891,00 | 4030,00 | 2578,00 | 3733,00 | 48227,00 |
| 2 | 107875,00 | 23463,00 | 45969,00 | 28173,00 | 16765,00 | 5954,00 | 5190,00 | 4196,00 | 4030,00 | 2782,00 | 3900,00 | 41969,00 |
| 3 | 167289,00 | 56379,00 | 52549,00 | 26711,00 | 18013,00 | 5832,00 | 4790,00 | 4434,00 | 4030,00 | 3053,00 | 4400,00 | 56037,00 |
| 4 | 133635,00 | 49081,00 | 58995,00 | 87164,00 | 10638,00 | 5419,00 | 4280,00 | 4693,00 | 3540,00 | 2947,00 | 4400,00 | 79913,00 |
| 5 | 81280,00 | 48990,00 | 40338,00 | 79697,00 | 18173,00 | 5411,00 | 4030,00 | 4504,00 | 2750,00 | 3160,00 | 4150,00 | 62420,00 |
| 6 | 190529,00 | 32224,00 | 35125,00 | 115837,00 | 18473,00 | 5284,00 | 3900,00 | 4504,00 | 2983,00 | 2970,00 | 5460,00 | 54840,00 |
| 7 | 162606,00 | 61856,00 | 25494,00 | 67081,00 | 10798,00 | 5284,00 | 3900,00 | 4660,00 | 2782,00 | 3900,00 | 4400,00 | 42474,00 |
| 8 | 133604,00 | 37343,00 | 137092,00 | 48180,00 | 11708,00 | 5730,00 | 4312,00 | 4660,00 | 2421,00 | 5460,00 | 3622,00 | 106164,00 |
| 9 | 93843,00 | 37606,00 | 72359,00 | 49544,00 | 9459,00 | 5460,00 | 4312,00 | 4660,00 | 2722,00 | 4030,00 | 3622,00 | 89261,00 |
| 10 | 93725,00 | 23854,00 | 52399,00 | 35432,00 | 9459,00 | 5460,00 | 4678,00 | 4660,00 | 2722,00 | 3900,00 | 3743,00 | 104166,00 |
| 11 | 214472,00 | 23337,00 | 40638,00 | 49611,00 | 9459,00 | 5190,00 | 4962,00 | 4530,00 | 3303,00 | 3780,00 | 5460,00 | 13279,00 |
| 12 | 371447,00 | 27621,00 | 29312,00 | 51314,00 | 9745,00 | 4790,00 | 4962,00 | 4530,00 | 3200,00 | 3080,00 | 5599,00 | 53978,00 |
| 13 | 193696,00 | 31791,00 | 29312,00 | 60893,00 | 10206,00 | 4790,00 | 5211,00 | 4020,00 | 3200,00 | 3900,00 | 5249,00 | 60612,00 |
| 14 | 120082,00 | 22661,00 | 60218,00 | 37102,00 | 9459,00 | 4180,00 | 5190,00 | 4130,00 | 3430,00 | 2453,00 | 3900,00 | 47898,00 |
| 15 | 133604,00 | 37723,00 | 28872,00 | 55193,00 | 10638,00 | 4180,00 | 5190,00 | 3150,00 | 3430,00 | 2621,00 | 5460,00 | 33167,00 |
| 16 | 193292,00 | 100625,00 | 15762,00 | 32762,00 | 22927,00 | 3830,00 | 5050,00 | 2870,00 | 3540,00 | 7061,00 | 5460,00 | 23739,00 |
| 17 | 134063,00 | 73790,00 | 19065,00 | 74451,00 | 17963,00 | 3800,00 | 5050,00 | 2870,00 | 3540,00 | 4298,00 | 4400,00 | 55993,00 |
| 18 | 119921,00 | 60326,00 | 19325,00 | 49058,00 | 14706,00 | 3790,00 | 5460,00 | 2800,00 | 3513,00 | 4298,00 | 5460,00 | 61753,00 |
| 19 | 119772,00 | 73343,00 | 24431,00 | 42687,00 | 10638,00 | 3790,00 | 12116,00 | 4150,00 | 3622,00 | 3708,00 | 63506,00 | 43408,00 |
| 20 | 208956,00 | 112904,00 | 44373,00 | 23716,00 | 10638,00 | 5190,00 | 8650,00 | 4150,00 | 3622,00 | 3708,00 | 59449,00 | 23704,00 |
| 21 | 177036,00 | 88766,00 | 30749,00 | 15901,00 | 5841,00 | 6160,00 | 4989,00 | 4530,00 | 3622,00 | 5460,00 | 11317,00 | 60439,00 |
| 22 | 146356,00 | 59937,00 | 22032,00 | 15206,00 | 5703,00 | 6300,00 | 4989,00 | 4530,00 | 3622,00 | 5050,00 | 43554,00 | 15470,00 |
| 23 | 121339,00 | 59477,00 | 13847,00 | 13832,00 | 5163,00 | 5460,00 | 3530,00 | 4400,00 | 3513,00 | 3540,00 | 43971,00 | 49578,00 |
| 24 | 135634,00 | 48168,00 | 13969,00 | 11723,00 | 5424,00 | 5190,00 | 3530,00 | 4400,00 | 2750,00 | 3430,00 | 16325,00 | 32776,00 |
| 25 | 71312,00 | 89629,00 | 15361,00 | 11310,00 | 5163,00 | 5190,00 | 3460,00 | 3960,00 | 2640,00 | 3200,00 | 28138,00 | 49397,00 |
| 26 | 50670,00 | 53554,00 | 12291,00 | 11160,00 | 5163,00 | 4664,00 | 3660,00 | 3970,00 | 2640,00 | 3200,00 | 14555,00 | 61895,00 |
| 27 | 33070,00 | 53115,00 | 12147,00 | 10623,00 | 5190,00 | 4753,00 | 3540,00 | 4200,00 | 2530,00 | 3363,00 | 97120,00 | 75770,00 |
| 28 | 95185,00 | 156118,00 | 11850,00 | 10213,00 | 5050,00 | 4962,00 | 3540,00 | 4250,00 | 2530,00 | 3821,00 | 21547,00 | 46397,00 |
| 29 | 135373,00 | 80035,00 | 12141,00 | 10204,00 | 4660,00 | 4839,00 | 3430,00 | 3900,00 | 2530,00 | 3160,00 | 43747,00 | 33601,00 |
| 30 | 193285,00 | | 11997,00 | 24721,00 | 5460,00 | 4839,00 | 3430,00 | 3790,00 | 3030,00 | 3663,00 | 54357,00 | 23854,00 |
| 31 | 82818,00 | | 11850,00 | | 5460,00 | | 3430,00 | 4530,00 | | 3443,00 | | 31846,00 |
| Maksimum | | | | | | | | | | | | |
| Rerata bulanan | | | | | | | | | | | | |
| Minimum | | | | | | | | | | | | |
| Periode 1 | | | | | | | | | | | | |
| Periode 2 | | | | | | | | | | | | |
| Periode 3 | | | | | | | | | | | | |

Sumber: UPTD Pengairan Jember.

Dari data debit ini kemudian dijadikan data debit maksimum harian per 9 tahun. Yang kemudian sebagai input data debit jam-jam an pada program Hec-Ras. Data debit maksimum harian 9 tahun dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Debit Maksimum Harian Per Bulan

| T G L | BULAN | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | JAN | PEB | MAR | APR | MEI | JUN | JUL | AGS | SEP | OKT | NOP | DES |
| 1 | 145308 | 164571 | 99614 | 194263 | 89747 | 79860 | 33610 | 12116 | 10312 | 32974 | 91287 | 241768 |
| 2 | 107875 | 428660 | 77284 | 128012 | 81119 | 41803 | 39443 | 9488 | 10312 | 42787 | 114352 | 355614 |
| 3 | 167259 | 234213 | 72315 | 108907 | 91265 | 41415 | 23226 | 9778 | 6584 | 61584 | 109710 | 313283 |
| 4 | 133635 | 126235 | 58995 | 185966 | 195210 | 47556 | 29774 | 9778 | 6346 | 67520 | 110163 | 153729 |
| 5 | 87907 | 104469 | 230809 | 137316 | 170543 | 66070 | 67534 | 27748 | 6346 | 53174 | 139696 | 133082 |
| 6 | 190529 | 87907 | 232688 | 115837 | 73343 | 83799 | 26114 | 34853 | 16533 | 67520 | 136728 | 242280 |
| 7 | 162606 | 175310 | 122266 | 106048 | 74554 | 74919 | 16866 | 35033 | 22457 | 104768 | 169993 | 160097 |
| 8 | 133604 | 118348 | 137092 | 74436 | 60176 | 76391 | 16673 | 32787 | 17563 | 138914 | 142434 | 144187 |
| 9 | 103122 | 101491 | 110908 | 82871 | 243053 | 99157 | 16533 | 40093 | 41717 | 248086 | 110196 | 206846 |
| 10 | 93725 | 172393 | 146736 | 89347 | 98496 | 55403 | 13226 | 24196 | 30892 | 141117 | 211775 | 120749 |
| 11 | 274472 | 107689 | 187602 | 195541 | 73754 | 48411 | 83028 | 10058 | 221666 | 116071 | 131923 | 98311 |

Tabel 4. 3 Debit Maksimum Harian Per Bulan (Lanjutan)

| T G L | BULAN | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | JAN | PEB | MAR | APR | MEI | JUN | JUL | AGS | SEP | OKT | NOP | DES |
| 12 | 371447 | 415155 | 92189 | 124795 | 69130 | 43107 | 47470 | 9918 | 107821 | 133376 | 134597 | 81301 |
| 13 | 193696 | 191395 | 276771 | 185316 | 107786 | 83965 | 48390 | 9638 | 105980 | 85896 | 144329 | 91698 |
| 14 | 120082 | 153697 | 151549 | 164692 | 89629 | 114057 | 50188 | 9348 | 79574 | 63170 | 125964 | 246777 |
| 15 | 133604 | 110608 | 152957 | 122470 | 78210 | 70120 | 65646 | 9078 | 36235 | 43200 | 267690 | 95770 |
| 16 | 193252 | 108810 | 121502 | 75246 | 68055 | 68500 | 39743 | 9348 | 37545 | 74687 | 144190 | 80210 |
| 17 | 134063 | 111562 | 119336 | 106441 | 42450 | 49020 | 23733 | 8282 | 72466 | 42787 | 108542 | 106077 |
| 18 | 119921 | 903200 | 85872 | 179250 | 37236 | 74747 | 18013 | 5361 | 51092 | 184054 | 113529 | 71484 |
| 19 | 119772 | 73343 | 199091 | 230067 | 36975 | 123785 | 17863 | 5935 | 150717 | 54592 | 148976 | 69039 |
| 20 | 208956 | 126887 | 172858 | 96989 | 31743 | 75441 | 17863 | 6064 | 81766 | 72736 | 105016 | 81042 |
| 21 | 177036 | 113592 | 307276 | 68055 | 55852 | 48070 | 17713 | 5935 | 74786 | 44246 | 110655 | 61693 |
| 22 | 146356 | 72859 | 191831 | 104199 | 55222 | 35980 | 26580 | 102710 | 220736 | 38493 | 172708 | 76112 |
| 23 | 121339 | 113687 | 163388 | 66980 | 98798 | 25736 | 48540 | 29258 | 91066 | 48526 | 146687 | 182304 |
| 24 | 157823 | 86414 | 117954 | 75323 | 82526 | 18323 | 33375 | 24186 | 77726 | 57928 | 136847 | 106079 |

Tabel 4. 4 Debit Maksimum Harian Per Bulan (Lanjutan)

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 112292 | 89629 | 73496 | 67867 | 86351 | 14405 | 20990 | 26469 | 72481 | 71686 | 238885 | 120442 |
| 26 | 106419 | 119219 | 95172 | 67287 | 94637 | 12945 | 16487 | 9348 | 114923 | 130222 | 147770 | 306771 |
| 27 | 165046 | 127933 | 64053 | 259730 | 111816 | 18013 | 12706 | 5190 | 78262 | 68330 | 157190 | 193631 |
| 28 | 95155 | 156118 | 54262 | 106442 | 73493 | 501400 | 19601 | 5460 | 62856 | 60954 | 175183 | 483684 |
| 29 | 135373 | 80035 | 161055 | 90436 | 53703 | 37034 | 58552 | 73213 | 65550 | 85211 | 217762 | 257254 |
| 30 | 193285 | 0 | 204642 | 77308 | 88487 | 26441 | 28616 | 379000 | 38727 | 73194 | 183540 | 126864 |
| 31 | 376939 | 0 | 82669 | 0 | 61264 | 0 | 14855 | 12013 | 0 | 116482 | 0 | 127174 |

Dari data debit maksimum harian per bulan selama periode 9 tahun di atas kemudian dicari debit maksimum harian di hari yang sama pada tiap bulannya. Dan ditabelkan seperti pada tabel 4.3

Tabel 4. 5 Debit Maksimum Harian 9 Tahun

| TGL | MAX | Q Maks |
|-----|--------|--------------------|
| | L/dt | m ³ /dt |
| 1 | 241768 | 241.77 |
| 2 | 428660 | 428.66 |
| 3 | 313283 | 313.28 |
| 4 | 195210 | 195.21 |
| 5 | 230809 | 230.81 |
| 6 | 242280 | 242.28 |
| 7 | 175310 | 175.31 |
| 8 | 144187 | 144.19 |
| 9 | 248086 | 248.09 |
| 10 | 211775 | 211.78 |
| 11 | 274472 | 274.47 |
| 12 | 415155 | 415.16 |
| 13 | 276771 | 276.77 |
| 14 | 246777 | 246.78 |
| 15 | 267690 | 267.69 |
| 16 | 193252 | 193.25 |
| 17 | 134063 | 134.06 |
| 18 | 903200 | 903.20 |
| 19 | 230067 | 230.07 |
| 20 | 208956 | 208.96 |
| 21 | 307276 | 307.28 |
| 22 | 220736 | 220.74 |

Tabel 4. 6 Debit Maksimum Harian 9 Tahun (Lanjutan)

| | | |
|----|--------|--------|
| 23 | 182304 | 182.30 |
| 24 | 157823 | 157.82 |
| 25 | 238885 | 238.89 |
| 26 | 306771 | 306.77 |
| 27 | 259730 | 259.73 |
| 28 | 501400 | 501.40 |
| 29 | 257254 | 257.25 |
| 30 | 379000 | 379.00 |
| 31 | 376939 | 376.94 |

Dari hasil diatas dapat dilihat kondisi debit pada Dam Pondokwaluh yang akan melewati Kali Tanggul hingga rencana sudetan nantinya. Debit maksimum harian yang didapat terjadi pada tanggal 18, sebesar 903.20 m³ per detik.

Data debit maksimum harian selama 9 tahun ini nantinya akan digunakan sebagai input debit pada program Hec-Ras.

4.1.2. Data Penampang Saluran

Data penampang saluran ini diperlukan sebagai input penampang pada program Hec-Ras. Data penampang saluran yang diperlukan adalah potongan melintang penampang Kali Tanggul, penampang melintang Kali Baru dan penampang melintang Sudetan Kali Tanggul. Data penampang saluran yang diinputkan dalam program Hec-Ras harus sesuai dengan kondisi riil lapangan. Dalam tugas akhir ini ada 126 potongan melintang untuk Kali Tanggul, 18 potongan untuk Kali Baru dan 20 potongan untuk sudetan.

Pada tugas akhir ini penulis mendapatkan data potongan melintang dalam program AutoCAD.

Pada data gambar yang didapatkan oleh penulis gambar potongan melintang hanya pada batas tanggul kecil. Sementara kondisi dilapangan adalah terdapat dua buah tanggul, tanggul kecil antara *floodplain* yang berbatasan langsung dengan *main channel* dan tanah datar sebelum tanggul besar. Pada kondisi di lapangan area *floodplain* yang berbatasan langsung dengan *main channel* digunakan sebagai ladang pertanian oleh masyarakat sekitar. *Floodplain* sendiri merupakan daerah datar diatas *main channel* yang difungsikan sebagai area tampungan air pada saat kondisi banjir. Pada tugas akhir ini penulis mendefinisikan banjir adalah ketika air sudah melewati tanggul kecil.

Untuk memasukkan data penampang melintang ke dalam program Hec-Ras ini adalah menggunakan acuan koordinat dan jarak titik koordinat penampang yang sudah di gambar pada program autoCAD. Untuk penjelasan langkah-langkahnya akan di jelaskan pada lampiran.

4.1.3. Data Pasang Surut Air Laut

Seperti sudah dijelaskan pada subbab diatas, data pasang surut air laut ini digunakan sebagai batas hilir pada Sudetan Kali Tanggul, karena nantinya sudetan akan direncanakan bermuara langsung di laut pada posisi setelah gelombang pecah, sehingga diperlukannya data pasang surut air laut untuk mendapatkan kondisi seperti pada lapangan. Data pasang surut air laut ini digunakan untuk memodelkan kemungkinan terjadinya penambahan debit dan penambahan besar gerusan lokal yang terjadi pada jembatan selain dari debit yang mengalir pada penampang.

Data pasang surut air laut ini didapat dalam bentuk data pasang surut jam-jam an, yang kemudian diambil data maksimum harian dan dimasukkan kembali pada program Hec-Ras sebagai data pasang surut jam-jam an. Data pasang surut air

laut maksimum harian yang digunakan adalah seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4. 7 Data Pasang Surut Paseban

| Hari Ke | Tanggal | MAX |
|----------------|----------------|------------|
| 1 | 6-Jun-17 | 1.799 |
| 2 | 7-Jun-17 | 1.894 |
| 3 | 8-Jun-17 | 2.006 |
| 4 | 9-Jun-17 | 2.065 |
| 5 | 10-Jun-17 | 2.144 |
| 6 | 11-Jun-17 | 2.152 |
| 7 | 12-Jun-17 | 2.156 |
| 8 | 13-Jun-17 | 2.098 |
| 9 | 14-Jun-17 | 2.027 |
| 10 | 15-Jun-17 | 1.917 |
| 11 | 16-Jun-17 | 1.783 |
| 12 | 17-Jun-17 | 1.643 |
| 13 | 18-Jun-17 | 1.627 |
| 14 | 19-Jun-17 | 1.716 |
| 15 | 20-Jun-17 | 1.868 |
| 16 | 21-Jun-17 | 1.799 |
| 17 | 22-Jun-17 | 1.894 |
| 18 | 23-Jun-17 | 2.006 |
| 19 | 24-Jun-17 | 2.065 |
| 20 | 25-Jun-17 | 2.144 |
| 21 | 26-Jun-17 | 2.152 |
| 22 | 27-Jun-17 | 2.156 |
| 23 | 28-Jun-17 | 2.098 |
| 24 | 29-Jun-17 | 2.027 |
| 25 | 30-Jun-17 | 1.917 |
| 26 | 1-Jul-17 | 1.783 |
| 27 | 2-Jul-17 | 1.643 |
| 28 | 3-Jul-17 | 1.627 |

| | | |
|----|----------|-------|
| 29 | 4-Jul-17 | 1.716 |
| 30 | 5-Jul-17 | 1.868 |

Dari hasil data pasang surut Pantai Paseban, Jember didapatkan pasang surut tertinggi sampai pada ketinggian 2.156 meter.

4.2 Analisa Hidrolika Dengan Hec-Ras 4.1.0

4.2.1. Permodelan I

Pada permodelan I ini, penulis memodelkan desain eksisting. Data geometrik yang didapatkan digunakan untuk membuat model eksisting Kali Tanggul dan Kali Baru sepanjang 13.2 km pada program HEC-RAS. Data geometrik yang meliputi gambar penampang melintang dan memanjang ini membentang dari titik P. 3 pada hilir Kali Tanggul hingga P. 126 pada hilir Kali Tanggul dan dilanjutkan dengan eksisting Kali Baru sepanjang 900m yang juga meliputi gambar melintang dan memanjang dari section A-A' sampai dengan section S-S'. Pada permodelan pertama ini tidak ada bangunan air di sepanjang Kali Tanggul sampai dengan Kali Baru. Pada permodelan pertama ini akan mendapatkan hasil, apakah kapasitas penampang eksisting Kali Tanggul dan Kali Baru dapat menampung debit yang akan lewat.

Data penampang melintang yang dimasukkan sebagai input data pada program HEC-RAS ini memiliki interval 100 meter untuk Kali Tanggul dan 50 meter untuk Kali Baru. Untuk input syarat batas pada hulu Kali Tanggul ditetapkan pada titik P. 3 dengan menggunakan *flow hydrograph* atau catatan debit dari Dam Pondokwaluh yang telah dikonversikan menjadi data debit jam-jaman. Sedangkan untuk input syarat batas pada bagian hilir dipilih opsi *normal dept* atau kemiringan dasar saluran berdasarkan kemiringan dasar saluran eksisting. Tampak atas skema Kali Tanggul dan Kali Baru eksistin dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Skema Aliran Permodelan I

4.1.1.1. Input Kondisi Batas Hulu dan Hilir Permodelan I

Data yang digunakan sebagai input kondisi batas di hulu dan hilir Kali Tanggul dan Kali Baru pada permodelan pertama ini adalah *flow hydrograph* dan *normal depth* yang berupa pencatatan debit yang melewati Kali Tanggul dan Kali Baru. Data debit yang digunakan merupakan hasil dari pencatatan Dam Pondokwaluh yang terletak di bagian Hulu Kali Tanggul. Data debit yang didapatkan merupakan data debit yang tercatat

mulai dari periode Januari 2007 hingga Desember 2016 sebagaimana telah dijabarkan pada sub bab sebelumnya.

Data yang digunakan sebagai input kondisi batas di hilir Kali Baru adalah *normal depth* atau kemiringan dasar saluran eksisting. Didapatkan dari rumus:

$$I = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{dan} \quad \Delta L = \text{elv. dasar hulu} - \text{elv dasar hilir}$$

Dimana:

I = Kemiringan saluran

ΔL = Beda tinggi elevasi dasar hulu dan hilir

L = Panjang saluran

Berdasarkan gambar potongan melintang didapatkan elevasi dasar pada bagian hulu +12.582 dan elevasi dasar pada bagian hilir saluran adalah +1.25 dengan panjang saluran total adalah 13,200 meter. Sehingga didapatkan kemiringan saluran:

$$I = \frac{11.332}{13,200} = 0.00085$$

4.1.1.2. Simulasi *Unsteady Flow* Permodelan I Dengan HEC-RAS

Setelah semua data sudah didapatkan, selanjutnya adalah memodelkan dan running dengan program HEC-RAS. Permodelan yang diinputkan pada HEC-RAS sebisa mungkin disesuaikan dengan kondisi di lapangan.

Pada jendela opsi *unsteady flow editor*, informasi yang dimasukkan untuk bisa menjalankan analisa kapasitas penampang Kali Tanggul hingga Kali Baru adalah *flow hydrograph* yang tadi berasal dari debit Dam Pondokwaluh dan *normal depth* yang didapat dari perhitungan kemiringan dasar saluran eksisting.

Sebagai input batas pada bagian hulu Kali Tanggul data debit dimasukkan data debit maksimum jam-jam an selama 31 jam dari tanggal 03 Juni 2018 pukul 00:00 sampai dengan 04 Juni 2018 pukul 06:00, seperti terlihat pada gambar 4.2

Flow Hydrograph

River: Kali Tanggul Reach: 1 RS: 144

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:
 Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

☐ Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 03JUN2018 Time: 00

☒ Fixed Start Time: Date: 03JUN2018 Time: 00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

| Hydrograph Data | | | |
|-----------------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| | Date | Simulation Time (hours) | Flow (m ³ /s) |
| 1 | 03Jun2018 2400 | 00.00 | 148.268 |
| 2 | 03Jun2018 0100 | 01.00 | 336.16 |
| 3 | 03Jun2018 0200 | 02.00 | 220.783 |
| 4 | 03Jun2018 0300 | 03.00 | 102.71 |
| 5 | 03Jun2018 0400 | 04.00 | 138.309 |
| 6 | 03Jun2018 0500 | 05.00 | 143.78 |
| 7 | 03Jun2018 0600 | 06.00 | 82.81 |
| 8 | 03Jun2018 0700 | 07.00 | 51.687 |
| 9 | 03Jun2018 0800 | 08.00 | 155.586 |
| 10 | 03Jun2018 0900 | 09.00 | 113.275 |
| 11 | 03Jun2018 1000 | 10.00 | 181.972 |
| 12 | 03Jun2018 1100 | 11.00 | 322.695 |
| 13 | 03Jun2018 1200 | 12.00 | 194.271 |
| 14 | 03Jun2018 1300 | 13.00 | 154.277 |
| 15 | 03Jun2018 1400 | 14.00 | 175.19 |
| 16 | 03Jun2018 1500 | 15.00 | 100.752 |
| 17 | 03Jun2018 1600 | 16.00 | 41.563 |
| 18 | 03Jun2018 1700 | 17.00 | 810.7 |
| 19 | 03Jun2018 1800 | 18.00 | 137.567 |

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

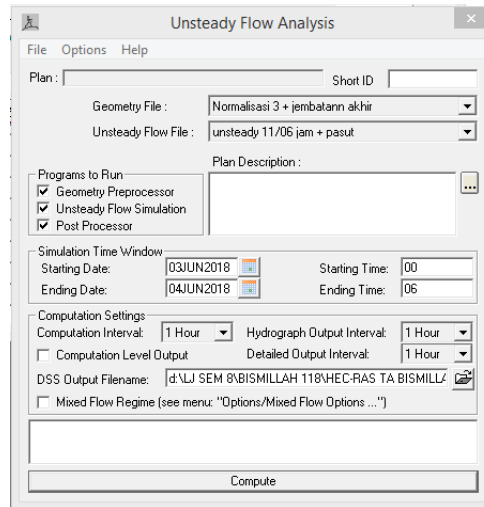
Min Flow: Multiplier:

Plot Data OK Cancel

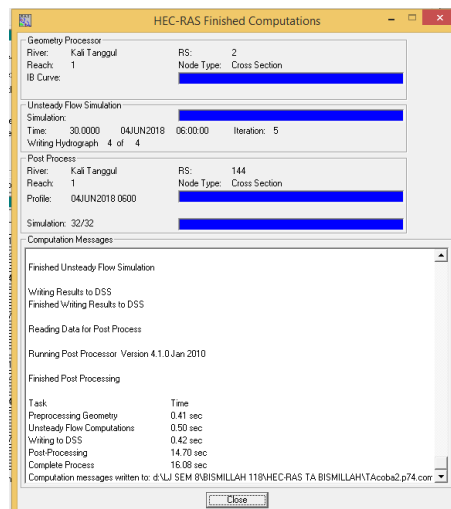
Gambar 4. 2 Input Data *Flow Hydrograph* PadaHec-Ras
Sumber: Hec-Ras 4.1.0

Input data untuk kondisi batas hilir Kali Baru dipilih menggunakan *normal depth* atau kemiringan dasar saluran (*I*) yang didapatkan dari perhitungan kemiringan dasar saluran di atas.

Selanjutnya adalah runnig *unsteady flow* permodelan 1. Klik *perform unsteady flow simulation* pada jendela program HEC-RAS seperti pada gambar 4.3, selanjutnya program akan menjalankan analisisnya. Apabila tidak ada kekurangan pada input data yang diperlukan hasil running pada HEC-RAS akan muncul jendela seperti pada gambar 4.4. Setelah running selesai maka dapat dilihat kondisi muka air maksimum pada tiap-tiap penampang saluran.



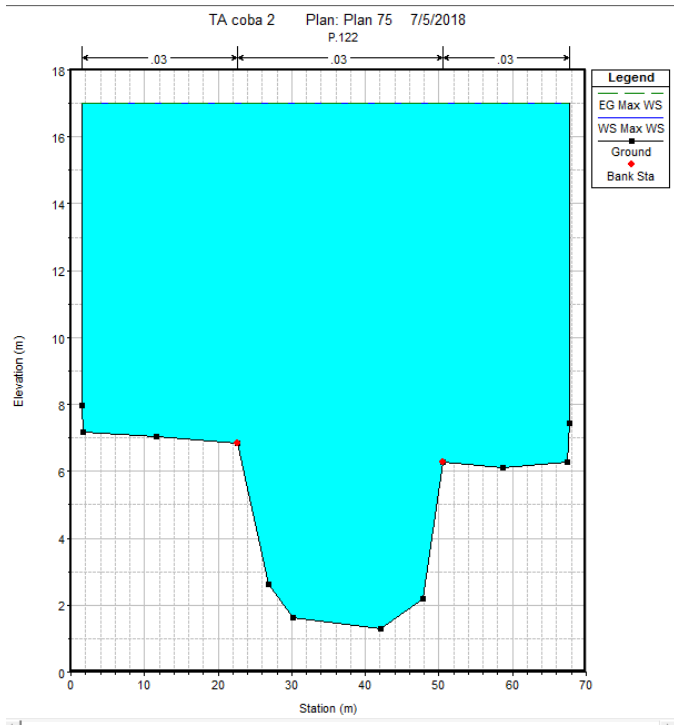
Gambar 4. 3 Jendela *Unsteady Flow Analysis*
Sumber: Hec-Ras 4.1.0



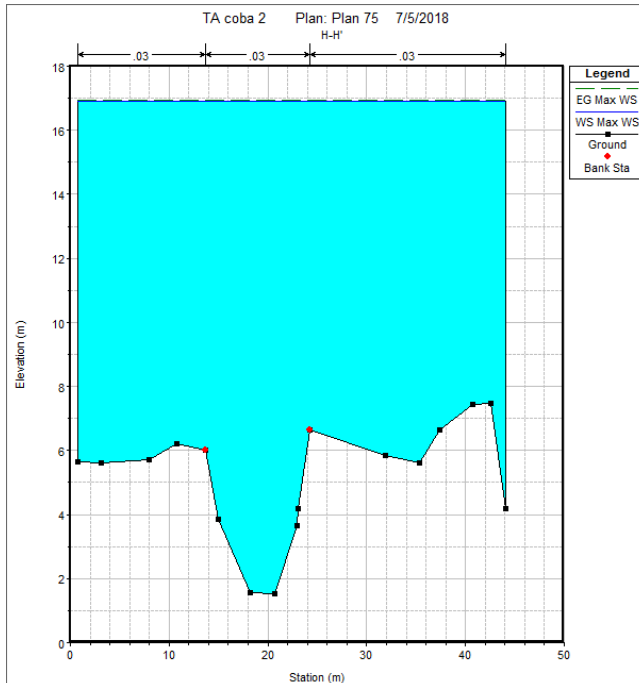
Gambar 4. 4 Hasil Running *Unsteady flow*
Sumber: Hec-Ras 4.1.0

Pada hasil running pertama dengan kondisi eksisting dan debit dari Dam Pondokwaluh, didapatkan masih terdapat air yang meluap diatas *floodplain* penampang dan melewati tanggul kecil atau bisa banjir sebagaimana telah ditentukan batas banjir pada subbab sebelumnya, kondisi penampang eksisting dapat dilihat seperti contoh pada gambar 4.5 untuk penampang Kali Tanggul, dan gambar 4.6 untuk penampang Kali Baru.

Dari hasil output running Hec-Ras didapatkan ketinggian air maksimum sampai pada +16.98 atau 8 meter di atas penampang. Hal ini dikarenakan penulis mengambil batas kanan dan kiri hanya pada batas *floodplain* di kanan dan kiri tanggul. Pada kondisi eksisting, penampang Kali Tanggul ini mempunyai 2 tanggul yang berbeda, tanggul yang pertama merupakan tanggul kecil setelah *floodplain* dan tanggul kedua merupakan tanggul besar yang berbatasan langsung dengan pemukiman warga. Pada kondisi di lapangan area *floodplain* yang berbatasan langsung dengan *main channel* digunakan sebagai ladang pertanian oleh masyarakat sekitar. *Floodplain* sendiri merupakan daerah datar diatas *main channel* yang difungsikan sebagai area tampungan air pada saat kondisi banjir. Pada tugas akhir ini penulis mendefinisikan banjir adalah ketika air sudah melewati tanggul kecil.



Gambar 4. 5 Hasil Permodelan I Pada Penampang Kali Tanggul
Sumber: Hec-Ras 4.1.0



Gambar 4. 6 Hasil Permodelan I Pada Penampang Kali Baru
Sumber: Hec-Ras 4.1.0

Dari hasil running diatas, didapatkan juga banjir pada kondisi eksisting saluran yang berkelok dan menyempit pada Kali Baru dan mengakibatkan air yang meluap atau banjir.

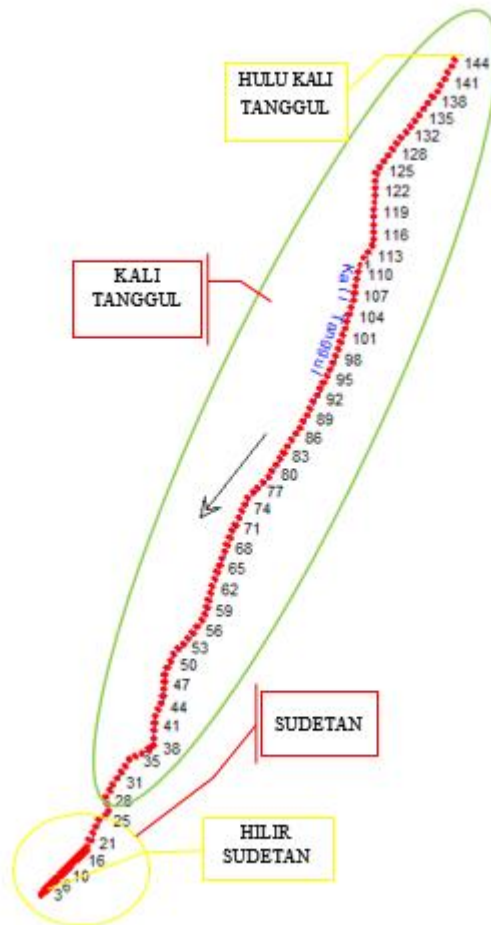
Dari hasil running pertama ini maka penulis merencanakan pembangunan sudetan yang langsung dialirkan menuju laut untuk mengatasi banjir di Kali Tanggul dan Kali Baru.

4.2.2. Permodelan II

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi pertama, selanjutnya penulis melakukan simulasi kedua dengan merencanakan sebuah sudetan yang memotong antara hilir Kali Tanggul dan Hulu Kali Baru. Perencanaan dimensi sudetan didapatkan dari total debit maksimum yang melewati saluran

dikurangi dengan kapasitas penampang sepanjang Kali Baru, yang pada akhirnya diharapkan dapat mengurangi beban pada penampang Kali Baru dan mengatasi banjir pada Kali Baru dan Kali Tanggul.

Data penampang melintang yang dimasukkan sebagai input data geometri pada program HEC-RAS ini memiliki interval 100 meter untuk Kali Tanggul dan 50 meter untuk Sudetan. Untuk input syarat batas pada hulu Kali Tanggul ditetapkan pada titik P. 3 dengan menggunakan flow hydrograph seperti pada permodelan sebelumnya. Dari data pengukuran batimetri didapatkan kebutuhan panjang untuk sudetan hingga pada elevasi +0.00 muka air laut adalah sepanjang 900 meter. Sehingga total panjang dari Hulu Kali Tanggul sampai dengan Hilir Sudetan adalah 13,200 meter. Sedangkan untuk input syarat batas pada bagian hilir sudetan, karena bagian hilir langsung bersinggungan dengan laut maka dipilih opsi *stage hydrograph* atau pasang surut air laut berdasarkan data pasang surut air laut maksimum jam-jam.an. Tampak atas skema Kali Tanggul dan Kali Baru eksistinsi dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Skema Aliran Permodelan II

4.2.2.1. Input Kondisi Batas Hulu dan Hilir Permodelan II

Untuk permodelan kedua ini kondisi batas atas sama dengan batas bawah, yaitu menggunakan *flow hydrograph*, hanya saja data debit yang dimasukkan dikurangi dengan total debit yang dapat ditampung oleh penampang Kali Baru. Dari hasil perhitungan debit hidrolika menggunakan rumus:

$$Q = V.A$$

$$Q = A.K.R^{2/3}.I^{1/2}$$

Dimana:

- Q = Debit hidrolika
 A = Luas penampang basah
 K = Koefisien kekasaran
 R = Jari – jari hidrolis
 I = Kemiringan dasar saluran

Luas penampang basah diambil dari potongan melintang terkecil pada saluran Kali Baru. Didapatkan luas penampang basah paling kecil pada titik section S-S' dengan luas penampang 49.54m². Dari data-data yang ada, maka didapatkan debit yang mampu ditampung pada saluran Kali Baru adalah:

$$Q = A.K.R^{2/3}.I^{1/2}$$

$$Q = 49.54 \text{ m}^2 . 35. 1.74 \text{ m}^{2/3} . 0.00136^{1/2}$$

$$Q = 92.5 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Dari hasil perhitungan debit Kali Baru selanjutnya dijadikan pengurang untuk debit yang akan melewati Kali Tanggul dan Sudetan. Hasil pengurangan debit dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 9 Debit Kali Tanggul

| | Q Maks Jam Kali Tanggul | Q Kali Baru | Q Kali Tanggul |
|--|-------------------------|--------------------|--------------------|
| | m ³ /dt | m ³ /dt | m ³ /dt |
| | 241.768 | 92.5 | 149.268 |
| | 428.66 | 92.5 | 336.16 |
| | 313.283 | 92.5 | 220.783 |
| | 195.21 | 92.5 | 102.71 |
| | 230.809 | 92.5 | 138.309 |
| | 242.28 | 92.5 | 149.78 |
| | 175.31 | 92.5 | 82.81 |

| | | | |
|------------|--------------|-------------|--------------|
| | 144.187 | 92.5 | 51.687 |
| | 248.086 | 92.5 | 155.586 |
| | 211.775 | 92.5 | 119.275 |
| | 274.472 | 92.5 | 181.972 |
| | 415.155 | 92.5 | 322.655 |
| | 276.771 | 92.5 | 184.271 |
| | 246.777 | 92.5 | 154.277 |
| | 267.69 | 92.5 | 175.19 |
| | 193.252 | 92.5 | 100.752 |
| | 134.063 | 92.5 | 41.563 |
| | 903.2 | 92.5 | 810.7 |
| | 230.067 | 92.5 | 137.567 |
| | 208.956 | 92.5 | 116.456 |
| | 307.276 | 92.5 | 214.776 |
| | 220.736 | 92.5 | 128.236 |
| | 182.304 | 92.5 | 89.804 |
| | 157.823 | 92.5 | 65.323 |
| | 238.885 | 92.5 | 146.385 |
| | 306.771 | 92.5 | 214.271 |
| | 259.73 | 92.5 | 167.23 |
| | 501.4 | 92.5 | 408.9 |
| | 257.254 | 92.5 | 164.754 |
| | 379 | 92.5 | 286.5 |
| | 376.939 | 92.5 | 284.439 |
| MAX | 903.2 | 92.5 | 810.7 |

Selanjutnya untuk batas pada bagian hilir Sudetan, karena pada bagian hilir sudetan langsung bersinggungan dengan laut, maka digunakan batas *stage hydrograph* dengan memasukkan data pasang surut air laut jam-jam an yang didapat dari hasil pengukuran seperti pada sub bab data pasang surut air laut sebelumnya. Input data *stage hydrograph* pada permodelan kedua dapat dilihat pada gambar 4.6.

Tabel 4. 10 Input Data Pasang Surut Pada Hec-Ras

Stage Hydrograph

River: Kali Tanggul Reach: 1 RS: 2

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

☐ Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 03Jun2018 Time: 00

☒ Fixed Start Time: Date: 03Jun2018 Time: 00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

| Hydrograph Data | | | |
|-----------------|----------------|----------------------------|--------------|
| | Date | Simulation Time (hours) | Stage (m) |
| 1 | 02Jun2018 2400 | 00:00 | 1.799 |
| 2 | 03Jun2018 0100 | 01:00 | 1.894 |
| 3 | 03Jun2018 0200 | 02:00 | 2.006 |
| 4 | 03Jun2018 0300 | 03:00 | 2.065 |
| 5 | 03Jun2018 0400 | 04:00 | 2.144 |
| 6 | 03Jun2018 0500 | 05:00 | 2.152 |
| 7 | 03Jun2018 0600 | 06:00 | 2.156 |
| 8 | 03Jun2018 0700 | 07:00 | 2.098 |
| 9 | 03Jun2018 0800 | 08:00 | 2.027 |
| 10 | 03Jun2018 0900 | 09:00 | 1.917 |
| 11 | 03Jun2018 1000 | 10:00 | 1.783 |
| 12 | 03Jun2018 1100 | 11:00 | 1.643 |
| 13 | 03Jun2018 1200 | 12:00 | 1.627 |
| 14 | 03Jun2018 1300 | 13:00 | 1.716 |
| 15 | 03Jun2018 1400 | 14:00 | 1.868 |
| 16 | 03Jun2018 1500 | 15:00 | 1.799 |
| 17 | 03Jun2018 1600 | 16:00 | 1.894 |
| 18 | 03Jun2018 1700 | 17:00 | 2.006 |
| 19 | 03Jun2018 1800 | 18:00 | 2.065 |
| 20 | 03Jun2018 1900 | 19:00 | 2.144 |
| 21 | 03Jun2018 2000 | 20:00 | 2.152 |
| 22 | 03Jun2018 2100 | 21:00 | 2.156 |
| 23 | 03Jun2018 2200 | 22:00 | 2.098 |
| 24 | 03Jun2018 2300 | 23:00 | 2.027 |

Plot Data OK Cancel

4.2.2.2. Simulasi *Unsteady Flow* Permodelan II Dengan HEC-RAS

Sama seperti running permodelan sebelumnya, running *unsteady flow* permodelan 2 ini dilakukan pada interval waktu yang sama. Sebelumnya dipastikan sudah menyimpan data *unsteady flow* pertama dan kedua, karena adanya perbedaan batas hulu dan hilir.

Pada hasil running kedua ini dengan kondisi penampang eksisting Kali Tanggul ditambah dengan rencana Sudetan Kali Tanggul dan untuk debit dari Dam Pondokwaluh yang sudah dikurangi dengan debit kapasitas dari penampang Kali Baru, hasilnya masih didapatkan pada beberapa titik penampang air

yang meluap diatas *floodplain* penampang saluran atau banjir. Karena dari hasil analisa permodelan kedua masih terdapat air yang meluap di atas flatplain, maka diperlukan normalisasi pada penampang Kali Tanggul.

4.2.3. Permodelan III

Dari hasil simulasi kondisi pertama dan kedua masih terdapat air yang meluap atau banjir pada beberapa bagian, maka pada tugas akhir ini penulis merencanakan adanya normalisasi penampang Kali Tanggul agar dapat menampung aliran debit yang akan lewat pada penampang Kali Tanggul. Normalisasi penampang kali tanggul dipilih penulis untuk mengatasi banjir yang terjadi karena dianggap paling efisien dalam hal pelaksanaan dan juga tidak harus mengambil tanah di luar wilayah saluran Kali Tanggul. Dengan panjang saluran yang sama dengan permodelan kedua yaitu 13,200 meter maka bentuk aliran pada permodelan ketiga ini sama dengan permodelan kedua. Begitu juga dengan batas hulu dan batas hilir yang digunakan.

Perbedaan permodelan II dengan permodelan III ini terletak pada input penampang saluran. Pada permodelan II penampang saluran yang digunakan merupakan penampang eksisting Kali Tanggul kemudian dipotong pada bagian titik hilir Kali Tanggul dan hulu Kali Baru kemudian langsung dialirkan menuju rencana Sudetan Kali Tanggul. Untuk menormalisasi Kali Tanggul, penulis merencanakan menggunakan persamaan debit hidrologi dan debit hidrolika. Dimana konsepnya adalah perhitungan hidrolika penampang harus lebih besar sama dengan perhitungan hidrologi. Pada kondisi eksisting Kali Tanggul terdapat dua tanggul, tanggul yang pertama merupakan tanggul kecil setelah *floodplain* dan tanggul kedua merupakan tanggul besar yang berbatasan langsung dengan pemukiman warga. Pada kondisi di lapangan, area *floodplain* dan dataran sebelum tanggul besar sebagian dijadikan warga sebagai ladang

pertanian. Maka dalam menormalisasi penampang Kali Tanggul ini penulis tidak bisa melebarkan penampang saluran Kali Tanggul. Penulis melakukan normalisasi dengan menggali sebagian area *floodplain* dan menjadikannya sebagai *mainchannel*.

4.2.3.1. Input Kondisi Batas Hulu dan Hilir Permodelan III

Untuk input kondisi batas hulu dan hilir pada permodelan ketiga ini, seperti dijelaskan diatas, kondisi batas sama dengan kondisi pada permodelan kedua. Yaitu menggunakan *flow hydrograph*, untuk kondisi batas pada hulu, dan *stage hydrograph* pada bagian hilir sudetan.

4.2.3.2. Simulasi *Unsteady Flow* Permodelan III dengan HEC-RAS

Sama seperti running permodelan sebelumnya, running *unsteady flow* permodelan 3 ini dilakukan pada interval waktu yang sama. Sebelumnya dipastikan sudah menyimpah data *unsteady flow* pertama dan kedua, karena adanya perbedaan batas hulu dan hilir.

Pada hasil running ketiga ini dengan kondisi penampang Kali Tanggul yang sudah dinormalisasi dan debit dari Dam Pondokwaluh yang sudah dikurangi dengan debit kapasitas dari penampang Kali Baru, didapatkan sudah tiak ada air yang meluap diatas *flatplain* penampang saluran atau banjir. Dari permodelan ini, didapatkan kondisi penampang ideal yang dapat menampung besarnya debit yang lewat pada saluran Kali Tanggul dan juga Sudetan. Perbandingan kondisi penampang Kali Tangul sebelum dan sesudah normalisasi dapat dilihat pada lampiran.

4.3 Analisa Sampel Sedimen

Data sedimen yang akan digunakan untuk permodelan besarnya *scouring* yang terjadi pada jembatan Kali Tanggul dalam pengerjaan tugas akhir ini merupakan hasil analisa

sampel sedimen yang diambil langsung di lokasi studi. Pengambilan sampel sedimen dilakukan menggunakan alat pengambil sampel sedimen seperti terlihat pada gambar 4.8 di dua titik sepanjang Kali Tanggul, titik pertama pengambilan sedimen berada di hilir Kali Tanggul dan hulu Kali Baru. Titik kedua diambil 5 meter sebelum Jembatan Kali Tanggul. Titik pengambilan sampel sedimen dapat dilihat pada gambar 4.9.



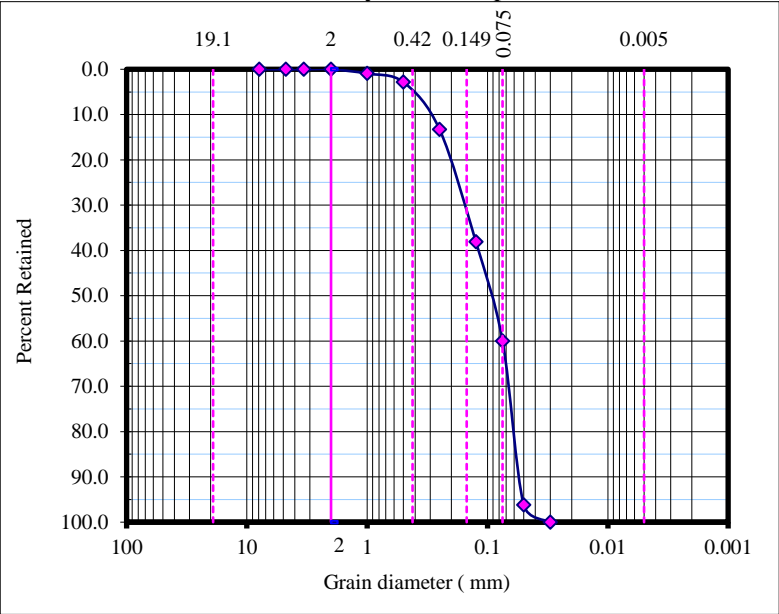
Gambar 4. 8 Alat Pengambil Sedimen



Gambar 4. 9 Lokasi Pengambilan Sedimen

Sampel yang sudah diambil lalu dianalisa di laboratorium untuk mengetahui gradasi sedimen yang terdapat sepanjang Kali Tanggul sampai dengan rencana Sudetan Kali Tanggul. Analisa yang dilakukan adalah analisa ayakan yang bertujuan untuk mengetahui prosentase dari sedimen untuk setiap ukuran butiran tertentu. Dari hasil analisa ayakan, dapat diketahui karakteristik sedimen yang ditinjau dalam bentuk grafik distribusi ukuran butiran. Pada grafik 4.1 dapat dilihat grafik hasil analisa ayakan untuk sampel sedimen yang diambil di Kali Tanggul, sedangkan untuk tabel prosentase butiran yang lolos untuk setiap ayakan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Grafik 4. 1 Analisa Ayakan Sampel Sedimen



Tabel 4. 11 Prosentase Butiran Yang Lolos Pada Setiap Ayakan

| Diameter | Tertahan | | |
|----------|----------|--------|--|
| | Berat | Prosen | |

| | Total | Contoh | | S |
|-------------|--------------|---------------|-------|----------|
| (mm) | (gram) | (gram) | (%) | (%) |
| 19.05 | 41 | 0 | 0 | 0 |
| 12.7 | 41 | 0 | 0 | 0 |
| 7.9 | 41 | 0 | 0 | 0.0 |
| 4.76 | 41 | 0 | 0 | 0.0 |
| 3.36 | 41 | 0 | 0 | 0.0 |
| 2 | 41 | 0 | 0 | 0.0 |
| 1 | 42 | 1 | 0.952 | 1.0 |
| 0.5 | 43 | 2 | 1.905 | 2.9 |
| 0.25 | 52 | 11 | 10.48 | 13.3 |
| 0.125 | 67 | 26 | 24.76 | 38.1 |
| 0.075 | 64 | 23 | 21.9 | 60.0 |
| 0.05 | 79 | 38 | 36.19 | 96.2 |
| 0.03 | 45 | 4.0 | 3.81 | 100.0 |
| 0.02 | | | | |
| 0.008 | | | | |
| 0.005 | | | | |
| 0.003 | | | | |
| 0.001 | | | | |

Dari hasil analisa ayakan untuk sampel sedimen yang sudah di ambil di Kali Tanggul diketahui bahwa karakteristik sebagian besar sampel sedimen merupakan pasir, dengan prosentase pasir sebesar 54%. Dari hasil analisa sampel sedimen ini nantinya didapatkan ukuran butiran sedimen yang digunakan untuk input pada program Hec-Ras.

4.4 Simulasi Gerusan Lokal Pada Jembatan

Simulasi gerusan lokal yang terjadi pada pilar Jembatan Tanggul yang berada di tengah Sudetan Kali Tanggul

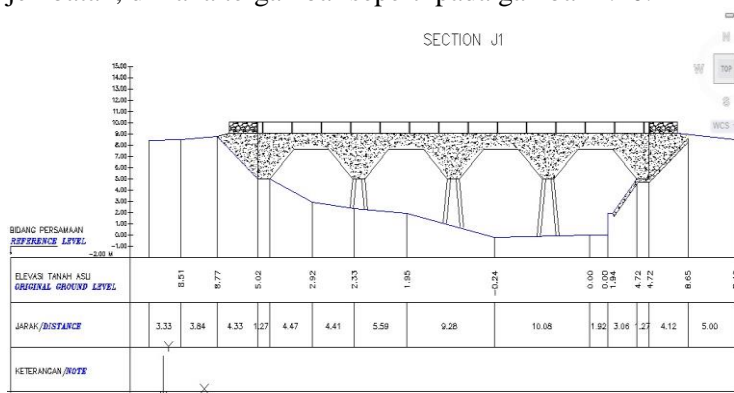
menggunakan opsi *unsteady flow* yang terdapat pada program HEC-RAS 4.1.0 dan mengetahui dalam gerusan lokal yang terjadi dengan menggunakan *hydraulic design* setelah dilakukan running dengan HEC-RAS.

Untuk menjalankan simulasi tersebut data-data yang telah dianalisa sebelumnya akan dimasukkan sebagai imput data pada program HEC-RAS 4.1.0. Secara umum input data yang diperlukan adalah:

1. Geometri penampang saluran.
2. Geometri jembatan.
3. Data debit yang akan lewat di bagian bawah jembatan.
4. Ukuran butiran sedimen d_{50} dan d_{90} .

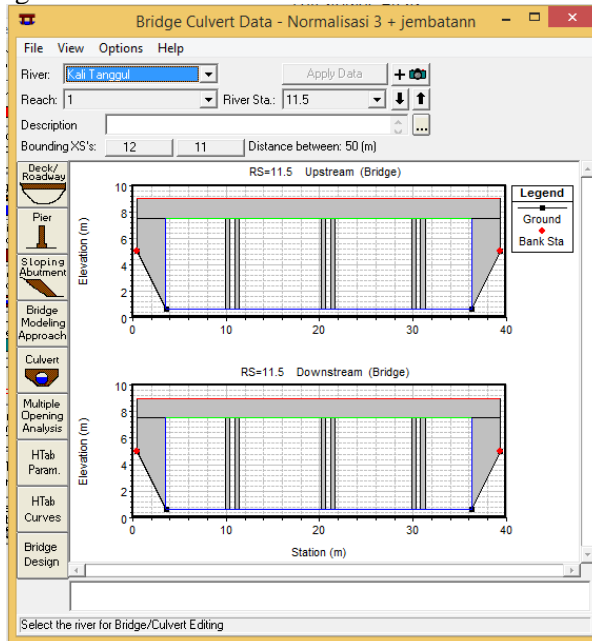
4.4.1 Input Data Geometri Jembatan

Sebelum melakukan input data sedimen, informasi yang harus dimasukkan adalah geometri jembatan yang kan kita cari besarnya gerusan lokal yang terjadi di bawahnya. Input data geometri jembatan dilakukan pada *bridge/culvert* pada menu *geometric data*. Data jembatan yang berada pada rencana sudetan Kali Tanggul ini dimasukan sesuai data eksisting jembatan, dimana tergambar seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Potongan Melintang Jembatan Kali Tanggul

Kemudian memasukkan data *deck/broadway*, *pier*, dan juga abutmen. Posisi jembatan ini disesuaikan dengan kondisi eksisting, pada studi ini berada di antara Sta 10 dan Sta 11. Hasil dari input data-data geometrik jembatan tadi akan menjadi seperti gambar 4.11



Gambar 4. 11 Input Data Geometri Jembatan

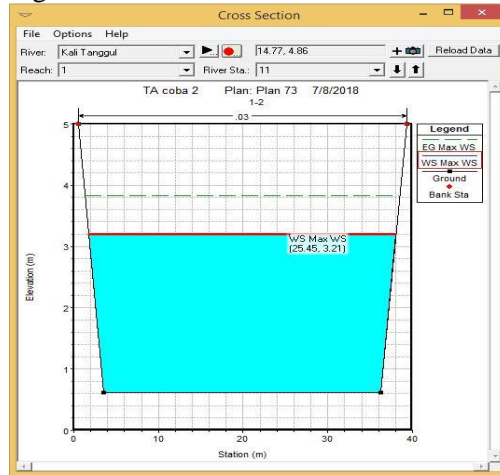
4.4.2 Simulasi *Unsteady Flow* Permodelan Jembatan

Setelah semua data geometric jembatan dimasukkan dalam program HEC-RAS, selanjutnya harus di running menggunakan *unsteady flow simulation*. Data *unsteady* menggunakan data terakhir pada simulasi ketiga, yaitu menggunakan batas hulu merupakan *flow hydrograph* dan batas kondisi hilir menggunakan pasang surut air laut.

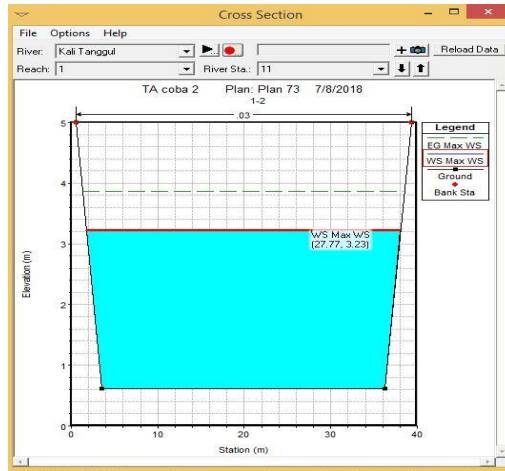
Setelah dilakukan running *unsteady flow analisis* hasil yang didapatkan nanti tidak berbeda seperti pada running sebelumnya. Pada running ini didapatkan perbedaan muka air

maksimum pada kondisi sebelum ada jembatan dan kondisi setelah ada jembatan yang dikarenakan adanya penyempitan saluran sudetan pada bagian bawah jembatan.

Perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar, seperti contoh satu penampang melintang Kali Tanggul dan Sudetan Tanggul seperti pada gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4. 12 Penampang Melintang Sudetan Sebelum Ada Jembatan

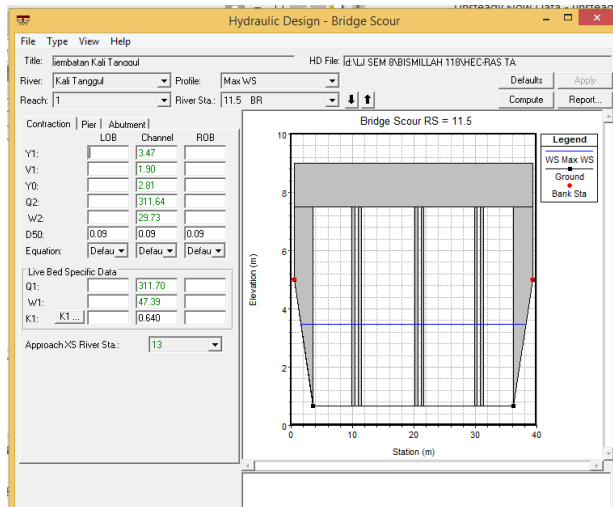


Gambar 4. 13 Penampang Melintang Sudetan Setelah Ada Jembatan

4.4.3 Analisa Gerusan Lokal Yang Terjadi Pada Jembatan

Setelah melakukan *running unsteady flow* dengan kondisi adanya jembatan pada sudetan. Untuk mengetahui besarnya gerusan lokal yang terjadi akibat debit yang lewat pada rencana sudetan tersebut, pada tugas kahir ini, penulis menggunakan analisa pada program HEC-RAS pada menu *perform hydraulic design computation*. Pada *hydraulic design* ada tiga macam analisa gerusan yang bisa terjadi. *Contraction*, pier dan abutmen.

Pada *contraction scour* data yang dibutuhkan untuk menghitung *contraction scouring* hampir semua telah secara otomatis diambil program HEC-RAS dari output hasil hitungan aliran di cross section yang dipilih, yaitu di jembatan hulu dan approach flow. Data yang harus diinputkan adalah d_{50} dalam satuan milimeter dan koefisien K_1 seperti dapat dilihat pada gambar 4.14.

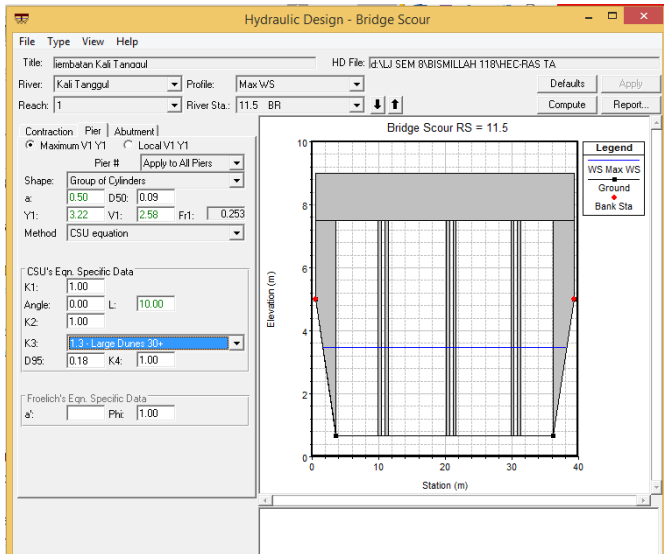


Gambar 4. 14 Input Data *Contraction Scour* Pada *Hydraulic Design*

Dalam studi ini, diameter sedimen d_{50} adalah 0.09 mm yang didapatkan dari hasil tes sampel sedimen pada lokasi Kali Tanggul. *Contraction scour* dapat dihitung dengan mengklik tombol compute atau setelah penginputan semua data untuk pilar dan abutmen selesai.

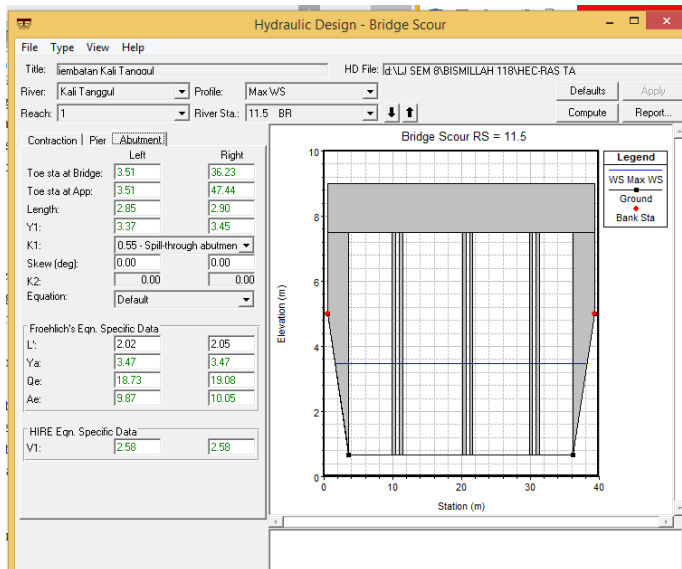
Program HEC-RAS menghitung *pier scour* dengan persamaan CSU (*California State University*) atau Froehlich. Data-data yang dibutuhkan ada 4 jenis, yaitu bentuk dan dimensi pilar, sudut datang aliran menuju pilar (*angle*), bentuk dasar sungai (K_3) dan diameter sedimen (d_{95}).

Pada studi ini bentuk pilar disesuaikan dengan bentuk di lapangan yaitu *group of cylinder*, sudut datang aliran menuju pilar (*angel*) adalah 0° , bentuk dasar sungai adalah *large dune* 30+ dan diameter d_{95} adalah 0.18 mm. Input data untuk *pier scour* dapat dilihat seperti pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Input Data *Pier Scour* Pada *Hydraulic Design*

Abutmen *scour* pada jembatan dihitung oleh HEC-RAS di pangkal jembatan kiri dan kanan secara terpisah. Data-data yang diperlukan untuk abutmen *scour* adalah bentuk abutmen dan sudut pangkal jembatan terhadap arah aliran sebagai data skew dalam satuan derajat. Angka skew 90 jika pangkal jembatan menjorok ke dalam sungai tegak lurus aliran, <90 apabila pangkal jembatan menjorok miring ke arah hilir, dan >90 apabila pangkal jembatan menjorok miring ke arah hulu. Pengisian data untuk abutmen *scour* dapat dilihat seperti pada gambar 4.16

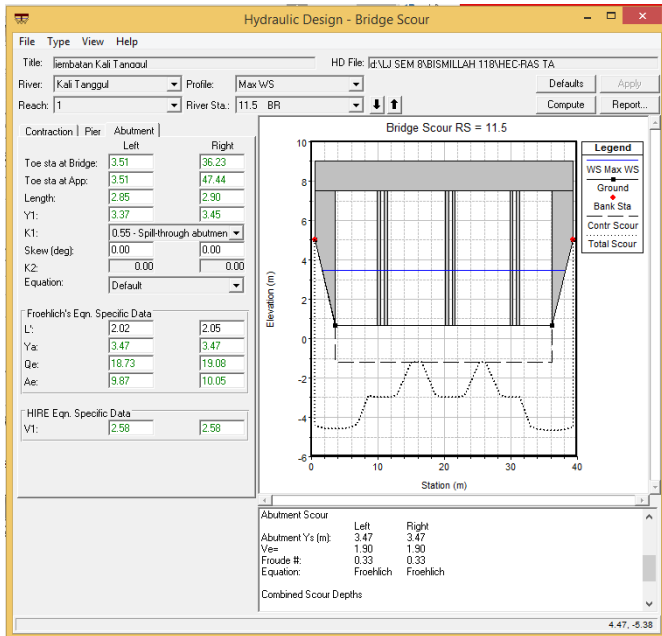


Gambar 4. 16 Input Data *Abutmen Scour* Pada *Hydraulic Design*

Setelah semua data dimasukkan, selanjutnya mengklik tombol *compute*. Maka hasil analisis permodelan berdasarkan program HEC-RAS akan muncul kombinasi dari setiap bagian.

1. Kedalaman *scour* akibat penyempitan alur (*contraction scour*) ditambah *scouring* pada tiap pilar (*pier scour*).
2. Kedalaman *scour* akibat penyempitan alur (*contraction scour*) ditambah kedalaman *scour* di setiap pangkal atau abutmen jembatan kanan dan kiri.

Hasil dari hitungan *bridge scour* disajikan dalam bentuk grafis seperti pada gambar 4.17 dan resume atau ringkasan seperti pada gambar 4.18.

Gambar 4. 17 Hasil Analisa *Scouring* Pada Hec-Ras

| | | | |
|-----------------------|---|-------------------------------|-----------|
| Results | Abutment Length (m): | 2.85 | 2.90 |
| | Depth at Toe (m): | 3.39 | 3.47 |
| | K1 Shape Coef: | 0.55 - Spill-through abutment | |
| | Degree of Skew (degrees): | 0.00 | 0.00 |
| | K2 Skew Coef: | 0.00 | 0.00 |
| | Projected Length L' (m): | 2.02 | 2.05 |
| | Avg Depth Obstructed Y _a (m): | 3.48 | 3.48 |
| | Flow Obstructed Q _e (m ³ /s): | 18.64 | 18.98 |
| | Area Obstructed A _e (m ²): | 9.92 | 10.10 |
| | Scour Depth Y _s (m): | 3.48 | 3.48 |
| Combined Scour Depths | Q _e /A _e = V _e : | 1.88 | 1.88 |
| | Froude #: | 0.32 | 0.32 |
| | Equation: | Froehlich | Froehlich |
| | Pier Scour + Contraction Scour (m): | Channel: 3.70 | |
| | Left abutment scour + contraction scour (m): | 5.40 | |
| | Right abutment scour + contraction scour (m): | 5.40 | |

Gambar 4. 18 Hasil Analisis *Scouring* Pada Jembatan

Dari hasil analisis HEC-RAS diatas didapatkan kedalaman gerusan lokal yang terjadi di bagian bawah jembatan berdasarkan penampang rencana sudetan dan juga debit aliran yang telah dimasukkan menggunakan *flow hydrograph* dapat ditabelkan seperti pada tabel 4.8

Tabel 4. 12 Ringkasan Hasil Analisa *Scouring*

| | Contraction (m) | Pier (m) | Abutmen (m) | Total (m) |
|---------|--------------------|-------------|----------------|--------------|
| Left | 1.92 | 1.78 | 3.48 | 5.40 |
| Channel | 1.92 | 1.78 | | 3.70 |
| Right | 1.92 | 1.78 | 3.48 | 5.40 |
| Froude | | 0.45 | 0.32 | |

4.5 Perlindungan Terhadap Gerusan Lokal Yang Terjadi Pada Jembatan

Setelah mendapatkan hasil besar atau dalamnya gerusan lokal yang terjadi pada bagian bawah jembatan pada rencana sudetan Kali Tanggul, dimana gerusan maksimum terjadi pada abutmen kanan dan kiri, dengan total *scouring* sebesar 5.34 meter. Dari hasil ini maka diperlukan adanya perlindungan untuk mengantisipasi kegagalan struktur akibat gerusan lokal yang terus menerus terjadi.

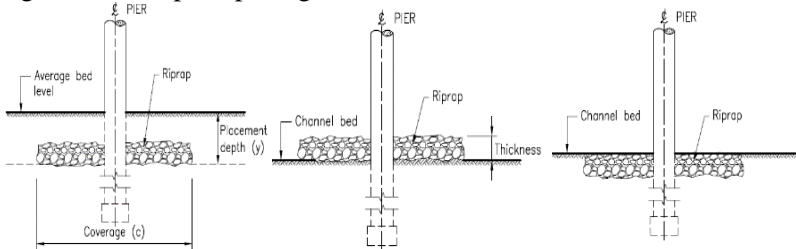
Terdapat berbagai macam metode pengendalian *scouring* ini, anantara lain:

1. Dengan pemasangan rantai rip-rap di sekitar pilar.
2. Pembuatan blok pondasi di sekitar pilar di dasar sungai.
3. Penempatan pilar semu di depan (hulu) pilar sesungguhnya.
4. Penempatan pilar searah dengan aliran.
5. Perubahan bentuk pilar yang dapat mengurangi hambatan aliran.

Terkadang terdapat upaya pengendalian gerusan lokal pada pilar jembatan menggunakan selimut bronjong di sekitar

pilar yang mengakibatkan alur aliran menjadi lebih sempit dan memperbesar diameter pilar, ini adalah cara pengendalian yang salah.

Pada studi ini perlindungan *scouring* yang dilakukan penulis adalah memasang lapisan batu pecah (rip-rap) pada *pier* jembatan. Perencanaan dimensi batu pecah ini memerlukan data material dasar sungai dan pondasi, kondisi aliran sungai termasuk kecepatan dan arah aliran, karakteristik material riprap yang meliputi ukuran batu pecah, bentuk dan ukuran *pier* terhadap arah aliran. Penentuan dan penetapan posisi riprap ada tiga kondisi seperti pada gambar 4.19



Gambar 4. 19 Posisi Perletakan Proteksi RipaRap

4.5.1. Proteksi RipRap Untuk Gerusan Pada Tiang/Pier Jembatan

Untuk menentukan proteksi riprap pada tiang jembatan yang diperlukan pertama adalah ukuran atau dimensi batu belah yang akan digunakan. Batu belah yang digunakan nantinya harus tahan terhadap kecepatan aliran yang terjadi di bawah jembatan atau pada pier. Untuk menentukan ukuran atau dimensi batu pecah (riprap) tunggal, digunakan *persamaan Isbash* dengan rumus,

$$d_{50} = \frac{0.692 (V_{des})^2}{(S-1).2g}$$

Dimana:

d_{50} = ukuran rata-rata (m)

V_{des} = kecepatan desain untuk kondisi lokal (m/dt)

S = Spesific gravity (diambil 2.65)

g = Percepatan gravitasi (m/dt^2)

Dari persamaan diatas, maka selanjutnya di cari besar d_{50} untuk batu pecah dengan data-data yang di dapatkan dari hasil running program Hec-Ras. Dari hasil running Hec-Ras didapatkan kecepatan rata-rata aliran pada titik upstream dan downstream jembatan adalah 3.035 m/dt. Maka didapatkan perhitungan dimensi batu pecah yang harus dipasang,

$$d_{50} = \frac{0.692 (3.035)^2}{(2.65 - 1) \cdot 2 \cdot 9.81}$$

$$d_{50} = 0.197 \text{ m} = 19.7 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan *Isbash* didapatkan dimensi batu belahyang harus dipasang untuk melindungi pilar jembatan akibat *scouring* sebesar 19.7cm.

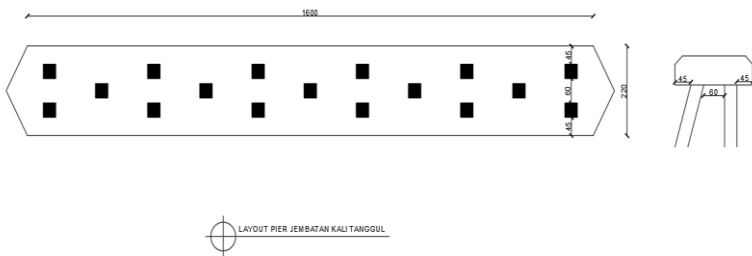
4.5.2. Layout Proteksi RipRap Pada Pier Jembatan

Untuk peletakan batu belah dengan dimensi yang sudah dihitung diatas diperlukan perhitungan layout peletakan agar dapat fungsi dari perlindungan dengan metode riprap dapat bekerja optimum. Kinerja optimum dari riprap yang digunakan sebagai proteksi pada gerusan (*scour*) yang terjadi pada *pier* dapat dicapai apabila jarak dan atau panjang riprap adalah dua kali lebar *pier* kesemua arah.

Untuk tebal proteksi dengan riprap, tebal minimum proteksi adalah tiga kali d_{50} ukuran batu riprap. Apabila kedalaman gerusan akibat kontraksi lebih besar dari $3d_{50}$, maka tebal proteksi gerusan sama dengan kedalaman gerusan akibat kontraksi dan apabila penempatan batu riprap dilakukan dibawah air, maka tebal riprap harus ditambah 50% dari tebal proteksi normal.

Lapisan akhir atau yang paling bawah biasa juga digunakan filter yang berfungsi menahan material-material dengan ukuran butiran yang sangat halus. Ada dua macam filter yakni filter geotextile dan filter dari batu pecah dengan ukuran kecil (*granule stone*) ataupun kombinasi dari keduanya.

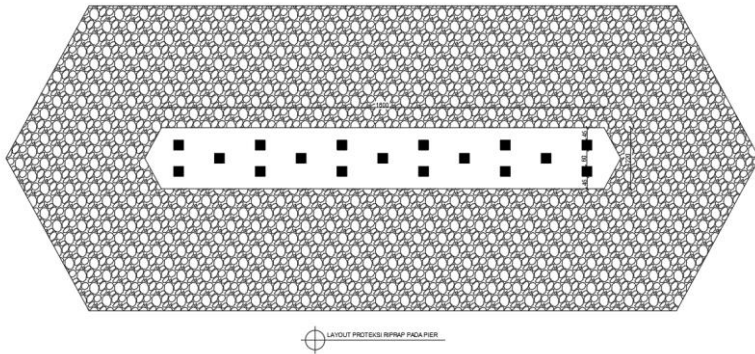
Pada studi ini bentuk dari *pier* Jembatan Kali Tanggul ini adalah silinder (tiang pancang) yang kemudian untuk memudahkan perhitungan layout proteksi riprap dijadikan satu sesuai dengan formasi pada kepala *pier* bagian atas. Bentuk layout eksisting tiang jembatan dapat dilihat pada gambar 4.20.



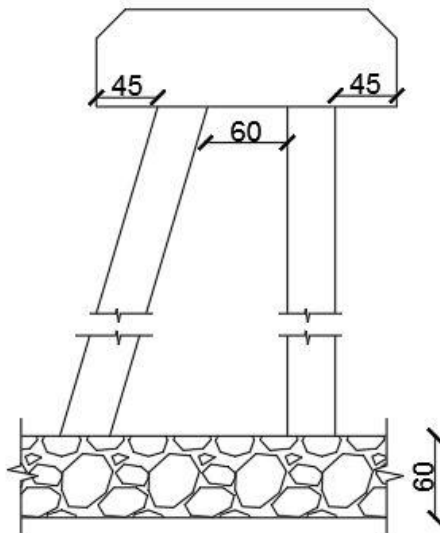
Gambar 4. 20 Layout Pier Jembatan

Berdasarkan perhitungan dimensi batu belah yang akan digunakan dan persyaratan kinerja optimum untuk layout perletakan proteksi riprap, maka didapatkan proteksi riprap untuk *pier* Jembatan Kali Tanggul seperti pada gambar 4.21. Dan tebal proteksi riprap pada *pier* jembatan sesuai ketentuan diatas adalah $3D_{50} = 3 \cdot 20\text{cm} = 60\text{cm}$, dapat dilihat pada gambar

...



Gambar 4. 21 Layout Proteksi RipRap Pada *Pier*



Gambar 4. 22 Layout Tebal Proteksi Riprap

Untuk perletakan batu belah sendiri penulis mendesain perletakan berada di dasar sungai atau saluran karena seperti dijelaskan diatas, apabila diletakkan perlindungan melingkari *pier* jembatan diatas dasar saluran akan menyebabkan penyempitan daerah aliran air.

4.5.3. Proteksi RipRap Untuk Gerusan Pada Abutmen Jembatan

Sama halnya dengan proteksi pada *pier* jembatan, proteksi pada abutmen jembatan pada studi ini penulis menggunakan proteksi riprap. Proteksi pada abutmen jembatan, kedalaman kaki proteksi ini harus berada sampai pada bagian bawah kedalaman gerusan dari akibat kontraksi yang dihitung. Untuk memperhitungkan dimensi batu belah yang digunakan ada dua cara yang pertama untuk angka froude, Fr kurang dari 0.80 dan untuk angka froude Fr lebih dari 0.8, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut,

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(S-1)} \left[\frac{V^2}{g \cdot y} \right] \quad \text{untuk angka froude} \leq 0.80$$

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(S-1)} \left[\frac{V^2}{g \cdot y} \right]^{-0.14} \quad \text{untuk angka froude} \geq 0.80$$

Dengan:

D_{50} = diameter batu rata-rata (m)

V = kecepatan rata-rata pada daerah kontraksi (m/dt)

S = Spesific gravity dari batu riprap

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

y = kedalaman aliran pada daerah kontraksi

K = 0.89 untuk sisi miring
= 1.02 untuk sisi tegak

Dari persamaan diatas, maka selanjutnya di cari besar d_{50} untuk batu pecah sebagai proteksi riprap dengan data-data yang di dapatkan dari hasil running program Hec-Ras. Dari hasil

running Hec-Ras didapatkan kecepatan rata-rata aliran pada daerah kontraksi di abutmen jembatan adalah 1.88 m/dt, dan ketinggian air di daerah kontraksi adalah 3.47 m dengan angka froude 0.32. Maka didapatkan perhitungan dimensi batu pecah yang harus dipasang,

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(S - 1)} \left[\frac{V^2}{g \cdot y} \right]$$

$$\frac{D_{50}}{3.47} = \frac{0.89}{(2.65 - 1)} \left[\frac{1.88^2}{9.81 \cdot 3.47} \right]$$

$$D_{50} = 0.19 \text{ m} = 19.43 \text{ cm}$$

4.5.4. Layout Proteksi RipRap Pada Abutmen Jembatan

Perletakan proteksi riprap pada bagian abutmen jembatan tidak memiliki aturan khusus seperti pada perletakan proteksi pada *pier* jembatan. Untuk layout proteksi riprap pada bagian abutmen adalah meletakkan kaki proteksi di bawah kedalaman gerusan yang terjadi. Apabila penampang saluran pada bagian bawah jembatan tidak terlalu lebar, maka perletakan proteksi bisa diletakkan sepanjang potongan melintang penampang.

Pada tugas akhir ini, *scouring* pada bagian abutmen jembatan setelah dilakukan running menggunakan progrm HecRas didapatkan gerusan yang terjadi sebesar – 5.27 meter namun untuk perletakan proteksi riprap pada abutmen jembatan tidak perlu diletakkan sampai pada kedalaman *scouring* tersebut. Layout untuk perletakan proteksi riprap pada abutmen diletakkan melingkar abutmen dan lebih panjang di sisi setelah abutmen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan data debit maksimum harian per bulan tiap tahun selama periode Januari 2007 hingga Desember 2016 yang tercatat pada pelimpah Dam Pondokwaluh kemudian diubah menjadi data debit maksimum jam-jam an, kemudian dikurangkan hasil perhitungan kapasitas tampungan pada Kali Baru didapatkan debit maksimum yang akan melewati Kali Tanggul hingga Sudetan dan bermuara di laut adalah $810.7 \text{ m}^3/\text{dt}$.
2. Tinggi muka air maksimum pada rencana sudetan akibat debit dan pasang surut air laut dan juga akibat penyempitan saluran akibat adanya bangunan jembatan adalah +4.51 pada bagian hulu sudetan, +3.48 pada bagian upstream jembatan, +3.30 pada bagian downstream jembatan dan + 2.16 pada bagian hilir sudetan.
3. Gerusan lokal yang terjadi pada bagian bawah jembatan dibagi menjadi 2, *contruction scour* dan *total scour*. Contruction scour di d apatkan besar nya 1.2 meter dan untuk total scour didapatkan maksimum 4.66 meter.
4. Dari hasil running didapatkan besar gerusan lokal yang terjadi pada pilar dan abutmen jembatan. Maka langkah selanjutnya adalah merencanakan perlindungan terhadap gerusan lokal yang terjadi. Pada studi ini penulis merencanakan perlindungan sebagai berikut:
 - a. Pada pilar menggunakan pemasangan lantai riprap, pengendalian *scouring* yang terjadi pada pilar dilakukan dengan cara pemasangan proteksi riprap pada bagian bawah dasar sungai, cara ini dipilih karena menurut penulis merupakan cara pengendalian gerusan lokal yang paling efisien, dan tidak mempersempit daerah aliran sudetan.
 - b. Pada abutmen jembatan diberlakukan pula proteksi riprap menyelimuti badan abutmen jembatan.

5. Layout perlindungan riprap yang diberlakukan adalah $2 \times$ lebar pier jembatan, yaitu $2 \times 2.2\text{m} = 4.4\text{m}$ ke semua arah. Untuk dimensi batu belah yang digunakan dicari dengan persamaan **Isbash**, dan didapatkan dimensi batu belah yang digunakan untuk *pier* adalah 20cm. Untuk layout perlindungan pada bagian abutmen, proteksi riprap dietakkan dari dasar saluran dan menyelimuti badan abutmen setinggi gerusan yang terjadi pada abutmen jembatan. Dimensi batu belah pada proteksi riprap pada abutmen di cari dengan persamaan **Isbash**, dan didapatkan dimensi batu belah yang sama dengan *pier* yaitu 20cm.

5.2. Saran

1. Simulasi yang digunakan dengan menggunakan program HEC-RAS 4.1.0 merupakan permodelan 1 dimensi dengan keterbatasan tidak dapat menghitung angkutan sedimen secara real time. Untuk hasil yang lebih maksimal permodelan bisa dilanjutkan dengan model 2 atau 3 dimensi.
2. Permodelan menggunakan HEC-RAS 4.1.0 tidak bisa membagi 1 aliran menjadi 2 aliran, sehingga pada kasus ini dilakukan permodelan secara terpisah. Untuk mendapatkan hasil yang lebih nyata dengan kondisi eksisting perlu dilakukan permodelan yang dapat membagi 1 aliran menjadi 2 aliran terpisah.
3. Perencanaan pengendalian scouring yang dibahas terbatas hanya membahas secara sederhana aktifitas pengendalian scouring. Perencanaan lebih lanjut bisa dilakukan dengan memperhitungkan aspek biaya dan metode pelaksanaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Breusers, H.N.C dan Raudkivi, A.J. 1991. *Scouring*. Netherlands: A.A Balkema.

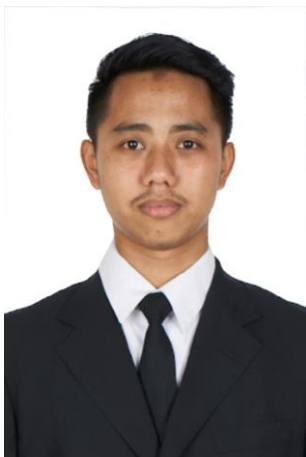
Yang, Chih Ted. 1996. *Sediment Transport: Theory and Practice*. Singapore: Mc.Graw Hill.

Bruner, Gary W. 2016. *HEC-RAS 5.0 Application Guide*. **Davis:** US Army Corps of Engineers.

Istiarto. 2011. *HEC-RAS: Bridge Scour*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama Muhammad Rizqi Uwais Al Qorni, dilahirkan di Surabaya pada 9 Oktober 1994, merupakan anak pertama dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDI Al-Hikmah Surabaya, SMP Negeri 22 Surabaya (kelas 1 SMP), Boarding School of Ar-Rohmah Malang (kelas 2-3 SMP), SMA Al-Falah Ketintang Surabaya. Penulis mengikuti ujian masuk Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP

3113030051. Dijurusan Diploma III Teknik Sipil penulis mengambil bidang studi Bangunan Keairan. Penulis sempat mengikuti magang kerja di “Proyek Jetty PT. Petrokimia Gresik” pada tahun 2015. Penulis pernah aktif di Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil (HMDS) sebagai staff di departemen Kewirausahaan (KWU) periode 2014-2015. Kemudian setelah lulus Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS, penulis mengikuti ujian masuk Program S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 03111645000017. Untuk pertanyaan mengenai tugas akhir dapat menghubungi via email: rizqiuwais88@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Tutorial Penggunaan Program Hec-Ras 4.1.0

Pada tugas akhir ini permodelan hidraulika, penulis sepenuhnya menggunakan program Hec-Ras 4.1.0 yang sudah disesuaikan dengan kondisi eksisting dari semua aspek. Hec-Ras adalah program yang diberikan secara freeware oleh Hydrologic Engineering Center Us Army. Program Hec-Ras ini menitik beratkan pada analisa Hidraulika pada sebuah sungai atau River Analysis System, lain halnya dengan program yang dikeluarkan oleh Hydrologic Engineering Center Us Army juga yaitu Hec-HMS yang menitik beratkan pada analisa hidrologinya.

Analisis yang dilakukan Hec-Ras adalah analisis aliran *steady*, *unsteady* dan sediment transport. Aliran *steady* adalah sebuah aliran dimana jumlah aliran yang mengalir adalah konstan tidak terpengaruh oleh waktu. Aliran *steady* dibagi menjadi 2, yaitu *uniform flow* dan *non uniform flow*. Sedangkan analisis aliran *unsteady* adalah sebuah aliran di mana aliran yang mengalir dalam suatu penampang sungai berpengaruh pada waktu atau tidak konstan. Pada tugas akhir ini penulis menggunakan analisa *unsteady flow* karena debit yang dimasukkan adalah data debit jam-jam an dan ada satu kondisi batas yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Penjelasan langkah-langkah penggunaan program Hec-Ras pada tugas akhir ini dibagi menjadi 3, yang pertama untuk permodelan geometri atau penampang sungai, kedua *running unsteady flow analysis*, terakhir adalah *perform hydraulic design computation* untuk mencari besaran gerusan lokal yang terjadi pada bagian bawah jembatan Kali Tanggul.

I. Input Data Penampang Melintang Saluran

Data penampang melintang saluran yang di dapat biasanya berupa file gambar di program Auto-CAD. Sama halnya dengan tugas akhir ini penulis mendapatkan data penampang melintang Kali Tanggul hingga Kali Baru dan Sudetan Tanggul berupa gambar pada program Auto-CAD. Untuk memasukkan data

- f. Copy hasil koordinat ke Ms.Excell, pada saat mengklik "*paste*" gunakan opsi "*paste special*" agar

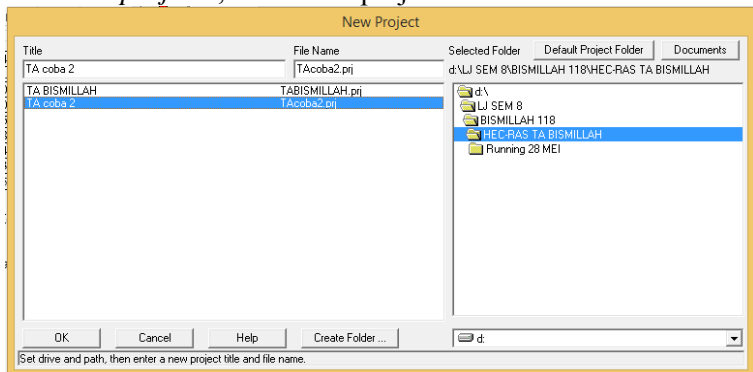
hasil koordinat dan keterangan huruf x, y dan z dapat terpisah seperti pada tabel di bawah ini.

| P.74 | | | | | | | |
|--------|----------|----|----------|----|---------|----|---|
| length | 644.1946 | | | | | | |
| at | point | X= | 3.75175 | Y= | 6.82051 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 13.57729 | Y= | 6.797 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 19.48229 | Y= | 2.401 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 23.78029 | Y= | 2.28 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 24.52829 | Y= | 2.023 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 33.42829 | Y= | 2.023 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 36.88829 | Y= | 2.618 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 40.28129 | Y= | 4.891 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 43.08329 | Y= | 6.464 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 64.10229 | Y= | 7.333 | Z= | 0 |
| at | point | X= | 64.57974 | Y= | 8.64541 | Z= | 0 |

II. Membuat New Project Pada Hec-Ras 4.1.0

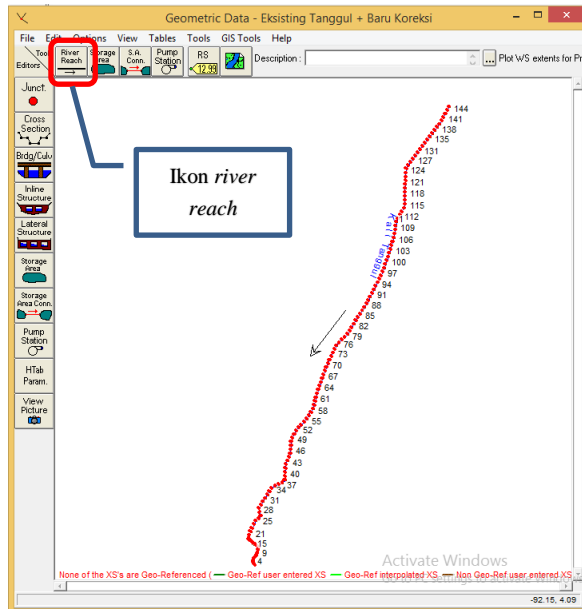
Dalam pembahasan ini dijelaskan program Hec-Ras sudah terinstall di komputer atau laptop penulis.

- Buka program Hec-Ras, kemudian klik “file” pilih “new project”, buat nama project dan klik ok



III. Memodelkan Aliran

- a. Masuk ke menu *geometric data*, lalu klik *river reach* dan tarik garis sesuai dengan bentuk aliran Kali Tanggul hingga Kali Baru.



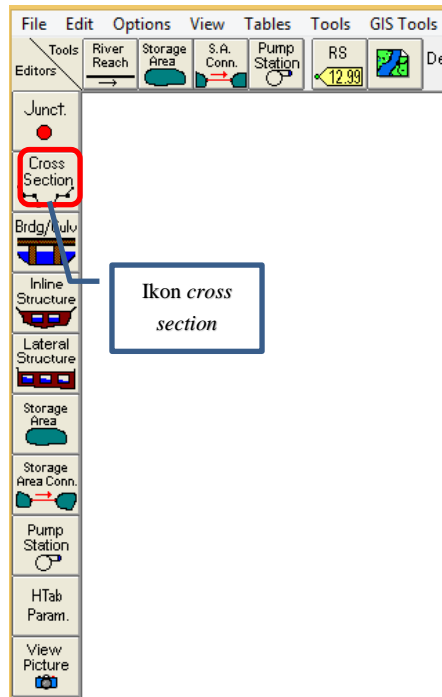
- b. Setelah selesai pada titik hilir klik kursor dua kali dan akan muncul kotak dialog untuk memberi nama pada river atau sungai yang sudah dibuat.



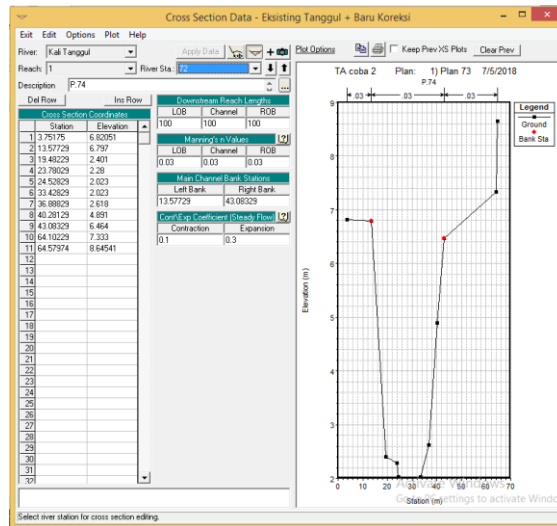
IV. Input Geometri Data Pada Hec-Ras

Setelah aliran saluran dibuat, selanjutnya adalah memasukkan data *cross section* atau penampang melintang sungai ke dalam program Hec-Ras. Data yang dimasukkan adalah data hasil input dari program AutoCAD yang sudah dilakukan sebelumnya dan dipindah ke dalam Ms. Excell.

- a. Klik menu *cross section* di dalam jendela *geometric data*.



- b. Masukkan data-data potongan penampang melintang saluran yang sudah dipindah ke dalam format Ms. Excell.



- c. Nilai LOB/ROB dan Channel diinputkan sesuai dengan data “distance” pada soal.
- d. Manning’s n Values atau angka kekasaran dimasukkan dengan nilai 0.02 (asumsi adalah penampang asli/tanah)
- e. Left Bank dan Right Bank diisi dengan station posisi titik dimana disesuaikan dengan bentuk penampangnya.
- f. Masukkan semua data cross section/penampang sungai.
- g. Save geometry data (usahakan save dengan format nama “eksisting” agar memudahkan pada saat running normalisasi).

V. Input *unsteady flow* Data Pada Hec-Ras

Setelah bentuk aliran dan data cross section sungai sudah diinputkan semua, selanjutnya adalah memodelkan isi/debit

yang akan lewat. Untuk permodelan kali ini, digunakan model *unsteady flow* dengan input debit merupakan hasil analisa debit dari Dam Pondokwaluh.

- Masuk ke menu *unsteady flow data*.
- Inputkan data unsteady sesuai dengan kondisi eksisting. *Boundary condition type* atau batas kondisi untuk hulu Kali Tanggul adalah *flow hydrograph* dan untuk hilir Kali Baru adalah *normal depth*.

| River | Reach | RS | Boundary Condition |
|----------------|-------|-----|--------------------|
| 1 Kali Tanggul | 1 | 144 | Flow Hydrograph |
| 2 Kali Tanggul | 1 | 1 | Normal Depth |

- Masukkan data *flow hydrograph* sesuai dengan data debit dari debit Dam.

| Date | Simulation Time | Flow (m³/s) |
|----------------|-----------------|-------------|
| 03Jun2018 2400 | 00:00 | 241.768 |
| 03Jun2018 0100 | 01:00 | 420.66 |
| 03Jun2018 0200 | 02:00 | 313.269 |
| 03Jun2018 0300 | 03:00 | 196.21 |
| 03Jun2018 0400 | 04:00 | 230.809 |
| 03Jun2018 0500 | 05:00 | 242.26 |
| 03Jun2018 0600 | 06:00 | 175.31 |
| 03Jun2018 0700 | 07:00 | 144.167 |
| 03Jun2018 0800 | 08:00 | 240.086 |
| 03Jun2018 0900 | 09:00 | 211.775 |
| 03Jun2018 1000 | 10:00 | 274.472 |
| 03Jun2018 1100 | 11:00 | 415.195 |
| 03Jun2018 1200 | 12:00 | 276.771 |
| 03Jun2018 1300 | 13:00 | 246.777 |
| 03Jun2018 1400 | 14:00 | 267.69 |
| 03Jun2018 1500 | 15:00 | 193.252 |
| 03Jun2018 1600 | 16:00 | 134.063 |
| 03Jun2018 1700 | 17:00 | 903.2 |
| 03Jun2018 1800 | 18:00 | 230.067 |

- d. Kemudian untuk data *normal depth* dimasukkan data kemiringan saluran eksisting sesuai dengan perhitungan kemiringan dasar saluran yang sudah dihitung di bab selanjutnya, yaitu 0.0009

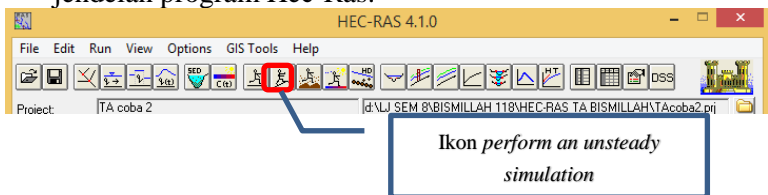


Kemudian simpan *unsteady flow-data*. Pastikan simpan dengan nama berbeda.

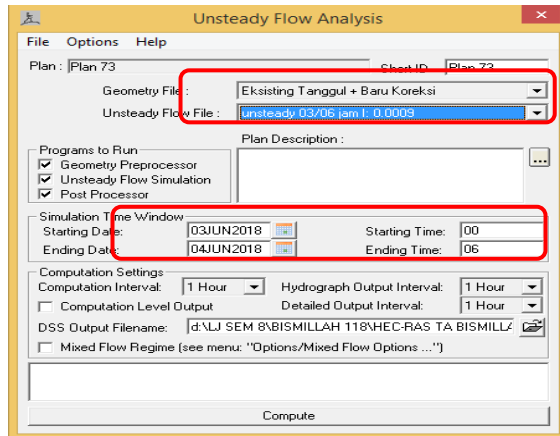
VI. Running *Unsteady Analysis* Hec-Ras

Sebelum melakukan running *unsteady analysis* pada program Hec-Ras, pastikan semua data yang dibutuhkan sudah terisi semua dan benar sesuai dengan data eksisting.

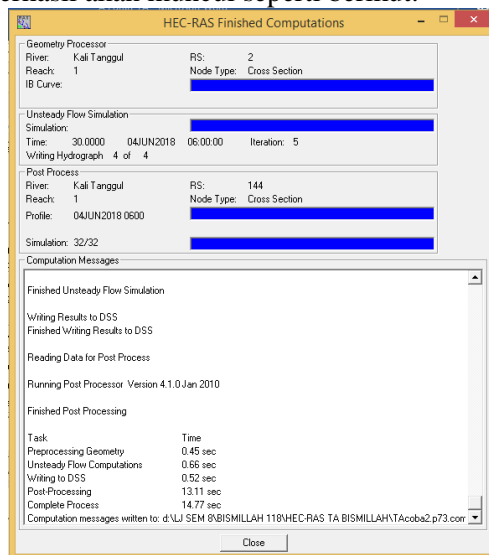
- a. Klik icon “*perform an unsteady simulation*” pada jendela program Hec-Ras.



- b. Centang semua komponen pada program to run. Pastikan *geometry file* dan *unsteady flow* file nya adalah geometri dan data unsteady yang sudah kita save di awal. Starting time di setting mulai pada jam 00.00 dan berakhir pada jam 6.00 di tanggal setelahnya sesuai dengan data hydrograph.



- c. Klik compute untuk memulai running, jika running berhasil akan muncul seperti berikut.

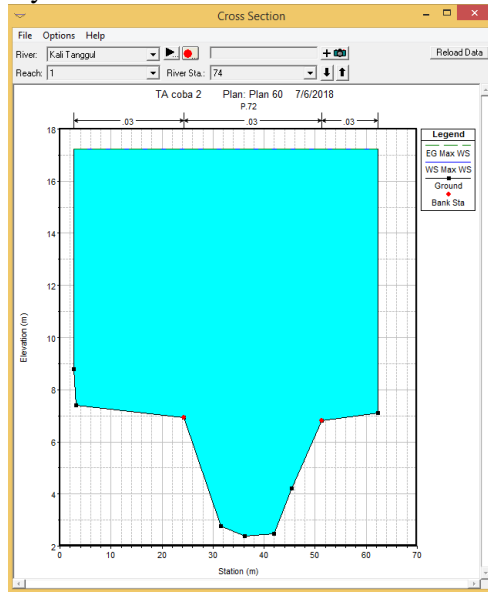


VII. Cek Kondisi Penampang Setelah Running

Setelah proses running unsteady flow analysis, pastikan bahwa kapasitas penampang mampu menerima debit yang

masuk. Untuk cek apakah penampang banjir atau tidak adalah sebagai berikut.

- a. Pilih icon “view cross section”, kemudian akan tampil river station yang ditinjau berdasarkan ketinggian airnya.



Dari hasil running *unsteady flow analysis* dapat dilihat penampang saluran masih tidak dapat menampung debit yang lewat. Selanjutnya dilakukan 2 permodelan lainnya, pertama pembangunan sudetan yang langsung menuju ke laut dan normalisasi penampang Kali Tanggul. Pada saat permodelan dengan desain rencana sudetan kondisi batas pada bagian hilir atau *bounary condition* nya diganti dengan *stage hydrograph* karena langsung berbatasan dengan laut.

VIII. Mendesain Jembatan Menggunakan Hec-Ras

- a. Masuk ke *geometric data editor*, pilih icon *bridge/culvert* pada jendela geometric data. Pada kolom *river* dan *reach* tidak perlu dipilih, karena hanya terdapat *river* dan *reach*. Sedangkan untuk *River Stasiun* karena posisi jembatan pada kondisi eksisting berada diantara *river stasiun* 11 dan 12, maka diisikan 11.5
- b. Untuk mendesain badan atau deck jembatan, klik icon *deck/broadway data editor*. Kemudian diisikan distance, width. Dan rencanakan posisi deck dengan mengisikan station dan ketinggian deck pada *station*, *high chord* dan *low chord*. Kemudian di klik “*copy US to DS*” dan klik ok.

Deck/Roadway Data Editor

| Distance | Width | Weir Coef |
|----------|-------|-----------|
| 5 | 10 | 1.4 |

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

| Upstream | | | | Downstream | | |
|----------|---------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| | Station | high chord | low chord | Station | high chord | low chord |
| 1 | 0.5 | 9. | 7.5 | 0.5 | 9. | 7.5 |
| 2 | 41.35 | 9. | 7.5 | 41.35 | 9. | 7.5 |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |

U.S. Embankment SS 0 D.S. Embankment SS 0

Weir Data
 Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

- c. Kemudian desain *pier*, klik icon *pier* dan isi posisi station pada jembatan di *Centerline station upstream* (merencanakan posisi pondasi terhadap dasar sungai), *copy* jarak *Centerline station upstream* ke *Centerline station downstream* dan rencanakan lebar pondasi dan elevasi terhadap dasar sungai sampai batas bawah jembatan. Untuk merencanakan *pier* selanjutnya klik “add” lalu isikan kembali seperti di awal.

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 10.15

Ins Row Centerline Station Downstream 10.15

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... ☐ Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

| | Upstream | | Downstream | |
|---|------------|-----------|------------|-----------|
| | Pier Width | Elevation | Pier Width | Elevation |
| 1 | 0.5 | 0. | 0.5 | 0. |
| 2 | 0.5 | 7.5 | 0.5 | 7.5 |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

- d. Untuk mendesain abutmen jembatan, pilih icon *sloping abutment* kemudian isikan posisi abutmen pada kolom *station* dan elevasi abutment pada stasiun tersebut.

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # [dropdown] [down arrow] [up arrow]

Del Row Ins Row

| Upstream | | Downstream | | |
|----------|---------|------------|---------|-----------|
| | Station | Elevation | Station | Elevation |
| 1 | 0. | 7.5 | 0. | 7.5 |
| 2 | 3.505 | 7.5 | 3.505 | 7.5 |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |

OK Cancel Help Copy Up to Down

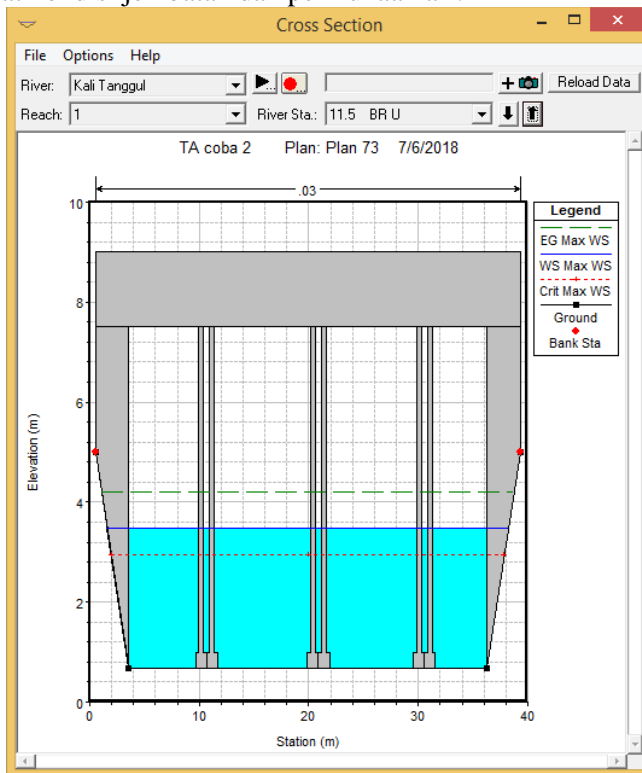
Select Abutment to Edit

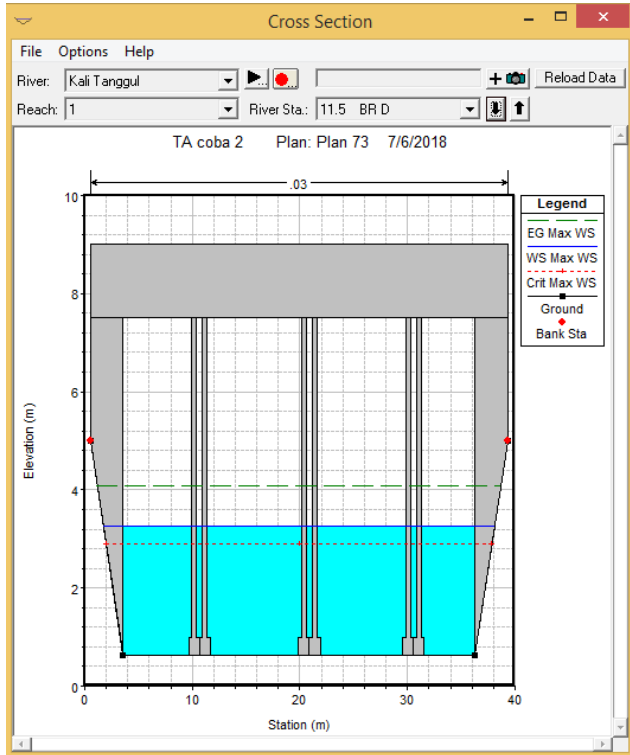
- e. Terakhir sebelum dilakukan running *unsteady flow* setelah desain jembatan klik pada opsi “HTab. Parameter” untuk mengisi data batas ketinggian elevasi muka air yang diijinkan.

IX. Running Unsteady Flow Analysis Jembatan

Kembali ke menu utama, pilih icon running unsteady flow, jika tidak terjadi eror ketika di running maka lanjutan akan muncul hasil running yang sama dengan sebelumnya pada

penampang sungai. Kemudian buka “view cross section” untuk melihat kondisi jembatan dan permukaan air.



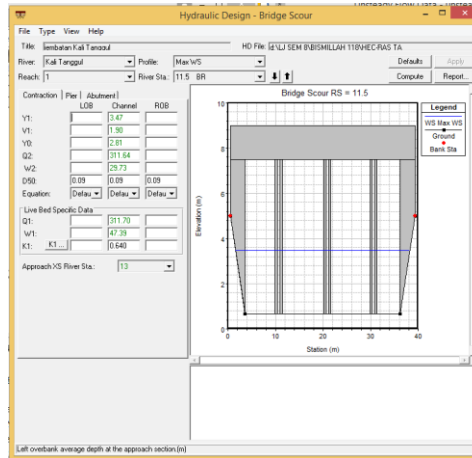


X. Mencari Besar *Scouring* Yang Terjadi Pada Bagian Bawah Jembatan

Setelah semua data steady flow di inputkan selanjutnya di running kondisi sungai yang sudah ada jembatannya dengan *unsteady flow analysis*. Jika tidak terjadi eror akan muncul jendela yang sama seperti sebelumnya. Dan dilanjutkan melihat hasil analisis pada *Perform Hydraulic Design Computation* untuk mendapatkan hasil analisa gerusan lokal atau *scouring* yang terjadi pada bagian bawah Jembatan Tanggul.

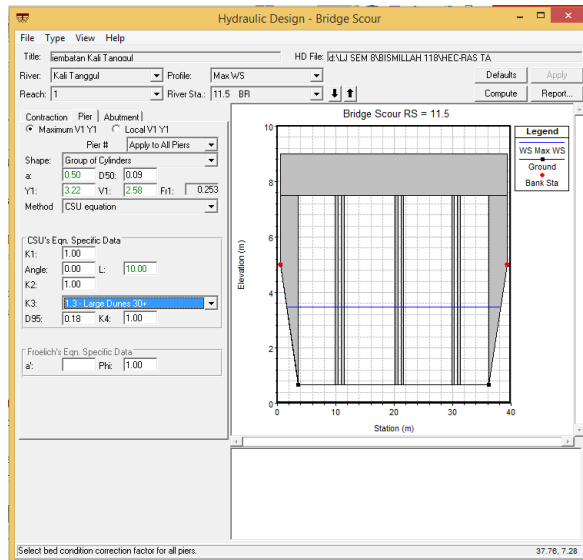
Pada *contraction scour* data yang dibutuhkan untuk menghitung *contraction scouring* hampir semua telah secara otomatis diambil program HEC-RAS dari output hasil hitungan

aliran di cross section yang dipilih, yaitu di jembatan hulu dan approach flow. Data yang harus diinputkan adalah d_{50} dalam satuan milimeter dan koefisien K_1 .

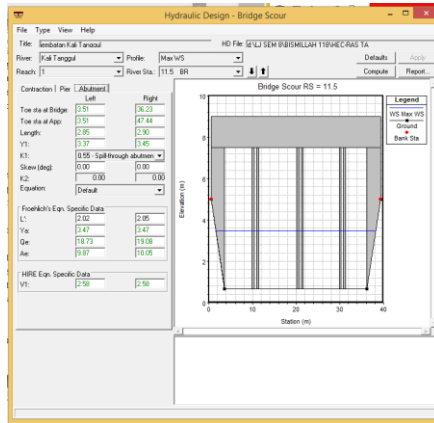


Program HEC-RAS menghitung *pier scour* dengan persamaan CSU (*California State University*) atau Froehlic. Data-data yang dibutuhkan ada 4 jenis, yaitu bentuk dan dimensi pilar, sudut datang aliran menuju pilar (*angle*), bentuk dasar sungai (K_3) dan diameter sedimen (d_{95}).

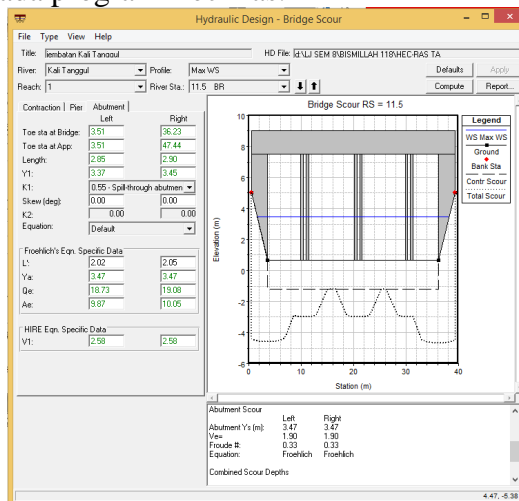
Pada studi ini bentuk pilar disesuaikan dengan bentuk di lapangan yaitu *group of cylinder*, sudut datang aliran menuju pilar (*angel*) adalah 0° , bentuk dasar sungai adalah *large dune* 30+ dan diameter d_{95} adalah 0.18 mm.



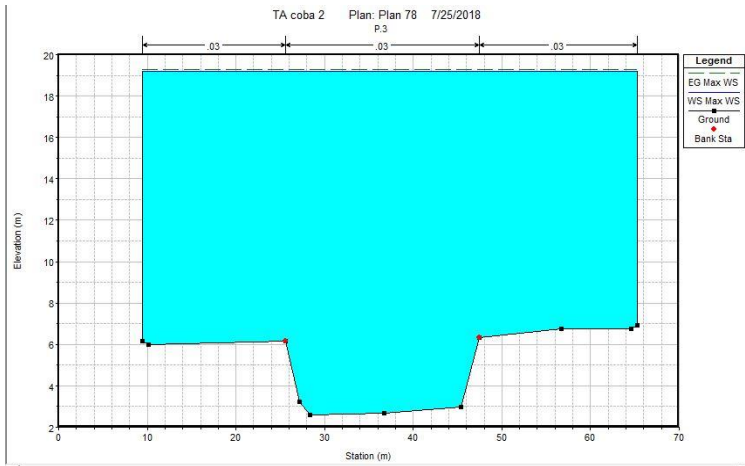
Abutmen *scour* pada jembatan dihitung oleh HEC-RAS di pangkal jembatan kiri dan kanan secara terpisah. Data-data yang diperlukan untuk abutmen *scour* adalah bentuk abutmen dan sudut pangkal jembatan terhadap arah aliran sebagai data skew dalam satuan derajat. Angka skew 90 jika pangkal jembatan menjorok ke dalam sungai tegak lurus aliran, <90 apabila pangkal jembatan menjorok miring ke arah hilir, dan >90 apabila pangkal jembatan menjorok miring ke arah hulu.



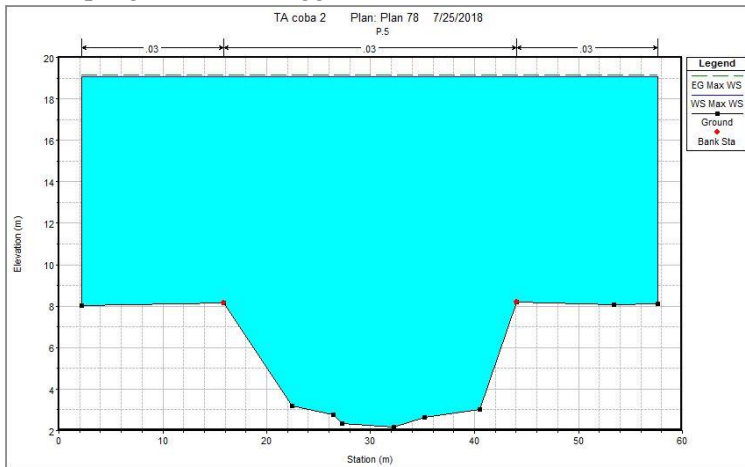
Setelah semua data sudah dipastikan terisi, lalu klik “compute” dan akan keluar hasil analisa gerusan yang terjadi pada program Hec-Ras.



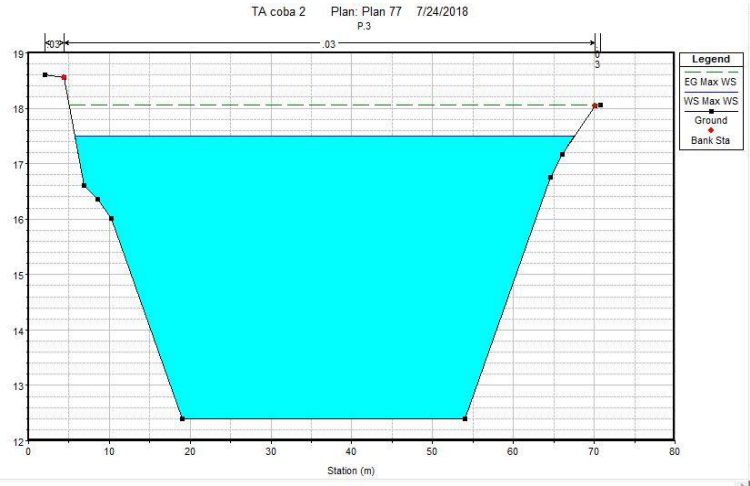
Perbandingan Penampang Melintang Kali Tanggul
Penampang P.3 Kali Tanggul Sebelum Normalisasi



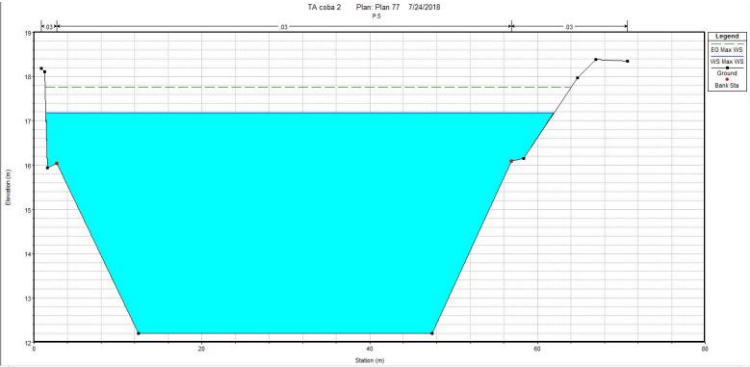
Penampang P.5 Kali Tanggul Sebelum Normalisasi



Penampang P.3 Kali Tanggul Setelah Normalisasi



Penampang P.5 Kali Tanggul Setelah Normalisasi



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini Selasa tanggal 10 Juli 2018 jam 09.00 WIB telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:



| NRP | Nama | Judul Tugas Akhir |
|----------------|-------------------------|--|
| 03111645000017 | Muhammad Rizqi Uwais A. | Analisa Scouring Pada Bagian Bawah Jembatan, Pada Rencana Sudetan Kali Tanggul, Jember, Jawa Timur |

Dengan Hasil :

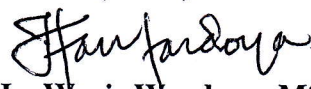
| | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan | <input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan | <input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan |

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

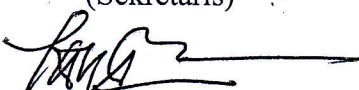
- Masalah → Tujuan → Kesimpulan → Terhant ☒
(Di masalah TA & PPT tidak sama)
- Dimensi protektor kaki jembatan thd scouring ?
tolong ditambahkan.
- Normalisasi sisi K. Tanggul (model 3) →
dimensi saluran berapa ? Menggunakan penampang
- Lokasi sudetan & asumsinya ? terbaik ?
- Perhitungan scouring maksimal ?
→ (terjemahkan hasil model dan benar)
- Skema pemodelan diperjelas.

| Tim Penguji (Anggota) | Tanda Tangan |
|---------------------------------|---|
| Mahendra Andiek Maulana, ST. MT |  |
| Nastasia Festy Margini, ST. MT |  |

Surabaya, 10 Juli 2018
Dosen Pembimbing I
(Ketua)


Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc

Dosen Pembimbing 2
(Sekretaris)


Ir. Bambang Sarwono, MSc

Dosen Pembimbing 3
(Sekretaris)





Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



| | |
|--------------------------|---|
| NAMA PEMBIMBING | : Dr. Ir. Wasis Wardoyo, MSc |
| NAMA MAHASISWA | : Muhammad Rizqi Uwais A. |
| NRP | : 03111645000017 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Analisa scouring pada Bagian Bawah Jembatan, Pada Rencana Sudetan Kali Tanggul, Jember, Jawa Timur |
| TANGGAL PROPOSAL | : 30 JANUARI 2018 |
| NO. SP-MMTA | : |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|------------|--|---|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 1. | 17/04 2018 | <ul style="list-style-type: none"> Perhitungan debit maksimum harian dan jam²an dari data debit dam | <ul style="list-style-type: none"> Cek satuan debit DAM. Cek kapasitas penampang sungai <ul style="list-style-type: none"> a. Kali tanggul b. Kali baru Kemiringan dasar saluran eksisting. | js- |
| 2. | | <ul style="list-style-type: none"> Rekapitulasi debit maksimum DAM jam Kapasitas penampang kali tanggul Kapasitas penampang kali baru | <ul style="list-style-type: none"> Running HEC-RAS berdasarkan data penampang eksisting dan data debit maksimum DAM. | js- |
| 3. | | <ul style="list-style-type: none"> Running eksisting kali tanggul dan kali baru menggunakan HEC-RAS. Elevasi muka air banjir pada penampang eksisting. | <ul style="list-style-type: none"> Normalisasi penampang eksisting. Perencanaan penampang sudetan + modeling jembatan menggunakan HEC-RAS. | js- |
| 4. | | <ul style="list-style-type: none"> Normalisasi penampang eksisting + sudetan dan jembatan | <ul style="list-style-type: none"> Normalisasi kemiringan dasar saluran Kali Tanggul. | js- |



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



| | |
|-------------------|---|
| NAMA PEMBIMBING | : Dr. Ir. Wani's Wardoyo, MSc dan Ir. Bambang Sarwono, MSc |
| NAMA MAHASISWA | : M. Rizki Ushala A |
| NRP | : 03111645000017 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Analisa Scouring pada Bagian Bawah Jembatan, Pada Rencana Sudetan Kali Tanggul, Jember Jawa Timur. |
| TANGGAL PROPOSAL | : 30 JANUARI 2018 |
| NO. SP-MMTA | : |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|-----------|---|---|--------------------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 1. | 17/04 -18 | <ul style="list-style-type: none"> Perhitungan Debit Maksimum Harian Modeling Geometric Eksisting | <ul style="list-style-type: none"> Cek Satuan $Q_1 / Q_2 / Q_3$ | Jo - 17/04 - 2018 |
| 2. | 27/04 -18 | | <ul style="list-style-type: none"> Hitung pasang surut maksimum harian Running HEC-RAS dengan pasang surut Debit yang harus ditampung sudetan. | |
| 3. | | | <ul style="list-style-type: none"> Running HEC-RA tanpa Kali baru. | |
| 4. | | | <ul style="list-style-type: none"> Input pasang surut maksimum harian. | |



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



| | |
|--------------------------|--|
| NAMA PEMBIMBING | : Ir. Bambang Sarwono, MSc. |
| NAMA MAHASISWA | : M. Rizqi Ukhis A. |
| NRP | : 03116450007 |
| JUDUL TUGAS AKHIR | : Analisa scouring pada bagian bawah jembatan, pada rencana sudetan Kali Tanggul, Jember, Jawa Timur |
| TANGGAL PROPOSAL | : 30 Januari |
| NO. SP-MMTA | : |

| NO | TANGGAL | KEGIATAN | | PARAF ASISTEN |
|----|---------|--|--|---------------|
| | | REALISASI | RENCANA MINGGU DEPAN | |
| 1. | | Permodelan HEC-RAS Eksisting Kali Tanggul | Cek elevasi dan dimensi Perampang Kali Tanggul sampai Kali Baru. | [Signature] |
| 2. | | Permodelan Kali Tanggul Normalisasi | Running 2 - 3 model 1. Eksisting Kali tanggul + Kali Baru 2. Eksisting Kali Tanggul + Sudetan Rencana 3. Normalisasi Kali Tanggul + Sudetan | |
| 3. | | | Cek kapasitas debit perampang Kali Baru Cek debit $\frac{1}{4}$ dialirkan di Kali Tanggul $\frac{3}{4}$ Sudetan Permodelan jembatan Kali tanggul | [Signature] |
| 4. | | Permodelan jembatan + hasil analisa scouring pada jembatan | Analisa perlindungan scouring pada pilar dan abutmen | [Signature] |